

Fakultät: Wirtschaftsingenieurwesen

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Einsatz eines Konfigurators im Sondermaschinenbau – Auswir- kungen auf die Tätigkeiten des Konstruktors**

Autor:

**Herr René Lang**

Studiengang:

**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:

**KW11wVA-F**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. Dr. h. c. Hartmut Lindner**

Zweitprüfer:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes Stelling**

Einreichung:

**Mittweida, 16.12.2015**

Verteidigung/Bewertung:

**Vöcklabruck, 2016**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Lang, René: Einsatz eines Konfigurators im Sondermaschinenbau – Auswirkungen auf die Tätigkeiten des Konstrukteurs. –2016. – Seitenanzahl Verzeichnisse S. V, Seitenanzahl des Inhalts S. 57, Seitenanzahl der Anhänge S. VI

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, Diplomarbeit, 2016

## **Referat:**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Einführung eines Konfigurators im Sondermaschinenbau und mit den Auswirkungen auf die Tätigkeiten des Konstrukteurs. Ziel ist es, die verschiedenen Konstruktionsabläufe im Sondermaschinenbau zu analysieren und zu vergleichen. Dazu müssen die Tätigkeiten der Konstrukteure ermittelt werden und die Einflussgrößen aus anderen Prozessen berücksichtigt werden.

# Inhaltverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	V
1 Einleitung .....	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2 Komplexität .....	2
1.2.1 Komplexitätstreiber .....	5
1.2.2 Ursachen der Komplexität .....	6
1.2.3 Interne und externe Komplexität .....	7
1.2.4 Folgen der Komplexität .....	9
1.3 Zielsetzung .....	12
1.4 Methodisches Vorgehen/Aufbau der Arbeit .....	13
2 Konstruktionsprozesse .....	14
2.1 Einführung in die Konstruktion .....	14
2.1.1 Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess .....	18
2.1.2 Vier Phasen des Konstruktionsprozesses .....	21
2.1.3 Konstruktionsarten .....	23
3 Produktstrukturierung .....	28
3.1 Kundenanforderungen .....	28
3.2 Funktionen und Bedingungen .....	29
3.3 Komponente, Baugruppe und Teil .....	29
3.4 Schnittstellen und Verbindungen .....	29
3.5 Funktionsstruktur und Produktionsstruktur .....	30
3.6 Produktarchitektur .....	31
3.7 Module und Modularität .....	33
3.8 Modulare Produktarchitektur .....	36
3.9 Integrale Produktarchitektur .....	38

3.10	Funktional-modulare und physisch-modulare Produktarchitektur.....	40
3.11	Modulbaukasten.....	41
3.12	Produktkonfigurator .....	42
4	Komplexitätsreduktion im Sondermaschinenbau .....	46
4.1	Konstruktionsabläufe im Sondermaschinenbau .....	46
4.1.1	Vollständige Neukonstruktion.....	47
4.1.2	Konstruktion verwendet bestehende Anlagenteile .....	48
4.1.3	Konstruktion auf Basis von vorentwickelten Modulen .....	49
4.2	Ansatz Konfiguration .....	50
4.2.1	Konstruktion mit Konfiguratoren.....	52
4.3	Auswirkung auf die Konstruktionsprozesse .....	54
4.3.1	Aufgaben in der Produktentwicklungs-Konstruktion.....	54
4.3.2	Aufgaben in der Kundenauftrags-Konstruktion .....	55
4.4	Auswirkungen auf den Konstrukteur.....	56
4.4.1	Auswirkungen für den Produktentwicklungs-Konstrukteur .....	56
4.4.2	Auswirkungen für den Kundenauftrags-Konstrukteur.....	56
5	Fazit .....	57
	Literaturverzeichnis .....	V
	Quellenverzeichnis .....	IX
	Selbstständigkeitserklärung.....	X

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zustände komplexer Systeme .....	4
Abbildung 2: Interne und externe Komplexitätstreiber .....	8
Abbildung 3: Interne und externe Komplexität .....	9
Abbildung 4: Änderung durch die Komplexität.....	10
Abbildung 5: Wirkungen der Komplexitätsveränderung .....	11
Abbildung 6: Lebenslauf eines Produktes.....	16
Abbildung 7: Einfluss der Stückzahl auf den Entwicklungsaufwand .....	18
Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Konstruieren.....	20
Abbildung 9: Unterscheidung der verschiedenen Konstruktionsarten nach speziellen Kriterien .....	24
Abbildung 10: Zuordnung der Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen .....	27
Abbildung 11: Funktions- und Produktstruktur hierarchisch dargestellt .....	31
Abbildung 12: Metus-Raute .....	32
Abbildung 13: Einteilung der Produktarchitekturen anhand der funktionalen und physischen Unabhängigkeit ihrer Komponenten .....	36
Abbildung 14: Modulare Produktarchitektur anhand einer Spiegelreflexkamera .....	37
Abbildung 15: Integrale Produktarchitektur anhand einer Sucherkamera.....	40
Abbildung 16: Vollständige Neukonstruktion .....	47
Abbildung 17: Konstruktionsphasen bei vollständigen Neukonstruktionen .....	47
Abbildung 18: Konstruktion verwendet bestehende Maschinenteile.....	48
Abbildung 19: Konstruktionsphasen bei Verwendung bestehender Anlageteile .....	49
Abbildung 20: Konstruktion mit vorentwickelten Modulen.....	49
Abbildung 21: Konstruktionsphasen mit der Basis von vorentwickelten Modulen.....	50
Abbildung 22: Konstruktion mit Konfigurator.....	52
Abbildung 23: Konstruktionsphasen mit Konfiguratoren .....	53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Effekte der Modularisierung .....	35
--	----

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Der Sondermaschinenbau ist Teil der Maschinenbaubranche. Dieser tendiert zu einer, im Vergleich zum Maschinenbau, intensiveren Fokussierung auf Kundenbedürfnisse, da er sich mit der Entwicklung von Prototypen oder höchst kundenspezifischen Anlagen beschäftigt. Diese sind selten bis nie als Standardprodukte beziehbar, da ihre Funktionen, die Form sowie Entwicklung sich ausschließlich an den Kundenanforderungen und dessen Rahmenbedingungen orientiert.<sup>1</sup>

Auf die Produktionen des Anlagenbaus, ident mit Sondermaschinenbau, wirken vor allem die Einflüsse des zu produzierenden Produkts beziehungsweise des Leistungsangebots. Da sich der Anlagenbau ausschließlich mit kundenspezifischen Produkten beschäftigt, werden individuelle Lösungen angestrebt. Ist dies einmal nicht realisierbar, zeigen Kunden immer weniger Verständnis. Auch zeitliche Restriktionen, an die sich ein Unternehmen zu halten hat, haben sich verschärft. Grundsätzlich stellt es kein Problem dar, die Forderung nach kundenindividuellen Produkten einzuhalten, nötigenfalls wird das Produkt in Einzelfertigung hergestellt. Dies führt allerdings zu der eigentlichen Problemstellung, da der Kunde in den meisten Fällen nicht bereit ist, die mit der Produktvielfalt und Individualisierung verbundenen zusätzlichen Kosten zu tragen. Meist werden individuelle Produkte zum Preis von Standardprodukten erwartet.<sup>2</sup> Die Fokussierung auf individuelle Lösungen stellt für die Unternehmen einen kritischen Erfolgsfaktor dar. Denn diese hemmt die Planbarkeit und Produktionsauslastung, ein niedriger Vorarbeitungsgrad erschwert die Stabilisierung der Prozesse und die hohe Produktvielfalt erzeugt Prozessvielfalt im Unternehmen.<sup>3</sup> Aufgrund der Individualität und fehlenden Planbarkeit entsteht Komplexität im Unternehmen.

Fast alle mitteleuropäischen Unternehmen im Maschinenbau, in der Automobiltechnik oder in der Elektrotechnik haben heute Probleme mit einer großen, stark zunehmenden Zahl von Varianten. Diese müssen entwickelt, produziert, vertrieben und

---

<sup>1</sup> Vgl.: Eberhardt-Motzelt (2014), S. 21

<sup>2</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S. 254

<sup>3</sup> Vgl.: Schuh-Group: <http://www.schuh-group.com/de/Broschueren/Produktionsaudit.pdf>, S. 3 (Auszug vom 30.10.2015)

gegebenenfalls auftragsbezogen abgewickelt werden. Dies führt zu immer komplizierteren Abläufen und Steuerungsprozessen – damit zwangsläufig zu steigenden Stückkosten. Dadurch wird häufig die Wettbewerbssituation entscheidend verschlechtert.

Diese Problematik wird als komplex wahrgenommen – einerseits bedingt durch die Herstellung von kundenspezifischen Sonderlösungen, und andererseits durch die nötige Sicherstellung der hohen Qualität und geringen Kosten. In der Konstruktionslehre gibt es die bewährten Ansätze der Produktstrukturierung und des Modulbaukastens, um diese Komplexität zu beherrschen.

## **1.2 Komplexität**

Komplexität begleitet das heutige Leben in zunehmendem Maße. Es wird von komplexen Systemen, Zusammenhängen und Problemen gesprochen. Ob im Alltag oder Beruf, man bewegt sich in komplexen Systemen.<sup>4</sup>

Die meisten Menschen haben ein eher intuitives Verständnis für Komplexität. Sie assoziieren damit etwas Schwieriges, Unverständliches oder Undurchschaubares. Dieses Verständnis kann im Alltag ausreichend sein. Im Zusammenhang mit Management ist es aber förderlich. Für höhere Führungsaufgaben ist es sogar notwendig, bessere Kenntnisse über die Komplexität von Problemen in Systemen zu besitzen.<sup>5</sup>

In der Literatur gibt es keine eindeutige Definition des Begriffs Komplexität. Oftmals wird unter Komplexität eine Systemeigenschaft verstanden, deren Grad von der Anzahl der Systemelemente, von der Vielzahl der Beziehungen zwischen diesen Elementen sowie der Anzahl möglicher Systemzustände abhängt.<sup>6</sup>

Eine Komplexität im System beschreibt Koordinationsprobleme, die sich aus der Vielfalt und Verzweigung organisatorischer Elemente wie Produkte, Kunden und Prozesse ergeben. Diese beeinflussen die Leistungsfähigkeit einer Organisation. Ursachen und Wirkungen der Komplexität erstrecken sich über die gesamte Wert-

---

<sup>4</sup> Vgl.: Luef (2011), S. 6

<sup>5</sup> Vgl.: Ebenda, S. 6

<sup>6</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 5

schöpfungskette eines Unternehmens. Sie beeinflussen sich zudem häufig wechselseitig.<sup>7</sup>

Die Komplexität wird bestimmt durch Anzahl und Verschiedenheit der Elemente und Beziehungen, die in einem System vorkommen. Ferner hängt die Komplexität von der Veränderlichkeit im Zeitablauf ab, die sich durch die Vielfalt der Verhaltensmöglichkeiten der Elemente sowie durch die Veränderlichkeit der Wirkungsverläufe zwischen Elementen ausdrückt. Stellt man diese beiden Hauptkriterien in einer Matrix dar und legt die Ausprägungen der beiden Dimensionen mit Veränderlichkeit/Dynamik und Vielzahl/Vielfalt fest, so lassen sich vier grundsätzliche Systemtypen unterscheiden, siehe Abbildung 1.<sup>8</sup>

- **Einfaches System**

Wenige Elemente, Beziehungen und Verhaltensmöglichkeiten

- **Kompliziertes System**

Viele Elemente und Beziehungen, Verhalten ist deterministisch

- **Relativ kompliziertes System**

Wenig Elemente und Beziehungen, hohe Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten

- **Äußerst komplexes System**

Vielzahl von Elementen mit vielfältigen Beziehungen, große Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten mit veränderlichen Wirkungsverläufen zwischen den Elementen<sup>9</sup>

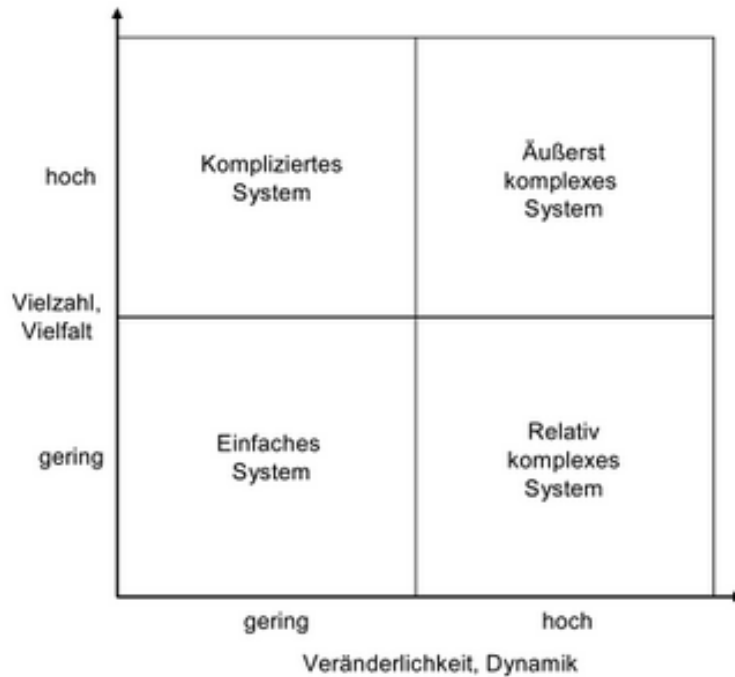
---

<sup>7</sup> Vgl.: Gleich (2013), S. 42

<sup>8</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 5

<sup>9</sup> Vgl.: Ebenda, S. 5





**Abbildung 1: Zustände komplexer Systeme<sup>10</sup>**

Zum einen wird in der Literatur mit Komplexität ein System bezeichnet, in dem nicht mehr alle Elemente miteinander verknüpft werden können, und zum anderen meint man damit eine gewisse Unbestimmtheit oder Unvorhersehbarkeit. Unternehmen wissen nicht ausreichend, was in der Zukunft passieren wird, und haben zu viele Möglichkeiten vor sich. Die Antwort auf Unbestimmtheit ist Entscheidung, daher stehen Unternehmen als komplexe Systeme unter Entscheidungszwang. Sie müssen wählen und das Überangebot an Möglichkeiten auf ein verarbeitbares Maß reduzieren.<sup>11</sup> Bei produzierenden Unternehmen tritt Komplexität deutlich auf, die Wettbewerbsbedingungen werden durch zwei Spezifika geprägt. Einerseits sind produktionsorientierte Managementkonzepte an die Starrheit oder Kontinuität des Systems Produktion gebunden. Große Vorleistungen im Sinne von Forschungs- und Entwicklungsaufwänden, Investitionen in kapitalintensive Betriebsmittel sowie der Aufbau von Kernkompetenzen, erfordern einen zunehmenden Verlauf in zeitlicher und finanzieller Hinsicht. Demgegenüber nimmt die Dynamik des Marktes stark zu. Immer schneller müssen die am Markt angebotenen Leistungen und Produkte verändert und angepasst werden, was prinzipiell der oben genannten Starrheit oder Konti-

<sup>10</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 6

<sup>11</sup> Vgl.: Ebenda, S. 6

nuität des Systems Produktion widerspricht. Daraus ergeben sich vielfältige, wenig voraussagbare, ungewisse Verhaltensmöglichkeiten.<sup>12</sup>

### **1.2.1 Komplexitätstreiber**

Um die Komplexität zu bewältigen, ist es notwendig, dass die verschiedenen Aspekte und Perspektiven näher betrachtet, und die wesentlichen Treiber identifiziert werden.

Komplexitätstreiber sind:

- Unternehmensgröße (Beschäftigungszahl, Sortimentsbreite, Fertigungstiefe und Standorte)
- Diversifikation in den Geschäftsbereichen
- Anzahl interner Schnittstellen (Organisationseinheiten) und externer Schnittstellen (Zulieferer und Absatzkanäle)
- Schnittstellendichte
- Sortimentsbreite und Erzeugniskomplexität (Komponentenvielzahl, Produktstrukturtiefe, Systemangebote)
- Dynamik, Diskontinuitäten, Änderungswilligkeit und –notwendigkeit (Kurzlebigkeit der Produkte)
- Unsicherheit, Ambiguität, Flexibilitätspotenziale und Intransparenz<sup>13</sup>

Es handelt sich hierbei um Größen, die untereinander abhängig sind, ohne dass sich einer der Faktoren vollkommen auf einen anderen reduzieren lässt. Die Literatur unterscheidet die vier Faktoren Vielzahl, Vielfalt, Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit, die sich zu den Komplexitätstreibern Masse und Dynamik zusammenfassen lassen. Somit wird das Komplexitätsproblem in eine statische beziehungsweise dynamische Komponente aufgetrennt, was für die Verständlichkeit und Bewältigung des Systems Unternehmen hilfreich erscheint.<sup>14</sup> Der Komplexitätstreiber Masse drückt eine große Vielzahl und Vielfalt von Elementen in einem System aus, während der Komplexitätstreiber Dynamik die Veränderlichkeit und Vieldeutigkeit der Elemente beschreibt.<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 7

<sup>13</sup> Vgl.: Ebenda, S. 8

<sup>14</sup> Vgl.: Ebenda, S. 9

<sup>15</sup> Vgl.: Budde (2012), S. 4

### 1.2.2 Ursachen der Komplexität

Die moderne Unternehmungsentwicklung ist gekennzeichnet von der Auseinandersetzung mit dem Komplexitätsgefälle zwischen Unternehmen und Umwelt. Daher können die Veränderungen in der Umwelt als Auslöser für die Unternehmensentwicklung verstanden werden.<sup>16</sup>

In den letzten Jahren hat sich das Streben nach einer globalen und verstärkten Kundenorientierung ausgebildet. Die Vielfalt an Kundenwünschen führt zu einer Ausbreitung der Produktvielfalt und somit zu einer Steigerung der Komplexität im Unternehmen. Aufgrund steigender Variantenzahlen und neuer Modelle, die zur Erschließung von Nischenmärkten notwendig sind, steigt auch die Komplexität entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Somit sinkt häufig trotz der Erhöhung des Umsatzes der operative Gewinn. Durch die modulare Produktarchitektur kann diesem Dilemma entgegengesteuert werden. Ein modularer Produktaufbau bietet die Möglichkeit, bei gleichzeitiger Erfüllung marktspezifischer Anforderungen, Gleichheiten zwischen Produktfamilien sowie Produktgenerationen zu schaffen und Skaleneffekte entlang der Wertschöpfungskette zu erzielen.<sup>17</sup>

Durch die Globalisierung und Individualisierung der Nachfrage hat die Vielfalt der Produkte in vielen Branchen stark zugenommen. Dadurch ist in den Unternehmen die Komplexität der Geschäftsprozesse stark angestiegen und oft unbeherrschbar geworden.<sup>18</sup> Unternehmensentwicklung und Komplexität sind eng miteinander verknüpft. Daher muss ein angemessenes Verhältnis zwischen der inneren Komplexität des Unternehmens und der äußeren der Umwelt hergestellt werden. Dieser Herausforderung müssen sich heutige Unternehmen stellen, und es gilt, sowohl die interne als auch die externe Komplexität nicht nur zu erkennen, sondern auch zu beherrschen und die möglichen Potenziale zu erschließen.<sup>19</sup> Daher wird im nächsten Abschnitt näher in die interne und externe Komplexität eingegangen.

---

<sup>16</sup> Vgl.:Schuh (2005), S. 12

<sup>17</sup> Vgl.: WZL RWTH-Aachen: [http://www.wzl.rwth-aachen.de/de/7a0c12a6e5cd2fd8c12574bb002a1f72/produktarchitekturen\\_richtig\\_gestalten.pdf](http://www.wzl.rwth-aachen.de/de/7a0c12a6e5cd2fd8c12574bb002a1f72/produktarchitekturen_richtig_gestalten.pdf), S.1 (Auszug vom 30.10.2015)

<sup>18</sup> Vgl.:Schuh (2005), S. 13

<sup>19</sup> Vgl.: Ebenda, S. 3

### 1.2.3 Interne und externe Komplexität

Die Variantenvielfalt ist ein Ausdruck der Komplexität im Unternehmen, diese hat exogene und endogene Ursachen. Zu den externen Ursachen zählen vor allem der zunehmende nationale und internationale Wettbewerb sowie der Wandel von Anbieter- zu Käufermärkten mit der damit verbundenen Tendenz zu immer stärker individualisierten Produkten. Im Zuge der Internationalisierung der Produktion und der Angebote sind zudem verstärkt differierende nationale Gesetze, Normen und Vorschriften zu berücksichtigen. Technologische Weiterentwicklungen sind eine weitere wichtige exogene Ursache hoher Variantenvielfalt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die exogenen Ursachen hoher Variantenvielfalt ein Mix aus den demand pull und technology push ist.<sup>20</sup>

Die internen Ursachen der Variantenvielfalt sind auf wechselseitige Beziehungen und autonome Unternehmenskomplexität zurückzuführen. Der notwendige Abgleich der Bedürfnisse der Kunden mit der angebotenen oder anzubietenden Variantenvielfalt ist eine der wichtigsten Ursachen. Beides muss in funktionaler, zeitlicher, mengenmäßiger und räumlicher Sicht aufeinander abgestimmt werden. Weitere endogene Ursachen der Variantenvielfalt sind Änderungen nach Produktionsablauf, Nichtbeachtung produktionstechnologischer Faktoren durch die Konstruktion, fehlende methodische Unterstützung der Variantenplanung und die in der Regel über mehrere Funktionen und Hierarchieebenen verteilte Verantwortung für Variantenentscheidungen. In Abbildung 2 werden weitere endogene und exogene Komplexitätstreiber dargestellt.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl.: Kirchhof (2003), S. 43

<sup>21</sup> Vgl.: Ebenda, S. 44

Externe Komplexitätstreiber	Interne Komplexitätstreiber
<b>Marktkomplexität</b>	<b>Korrelierte Unternehmenskomplexität</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nachfragerkomplexität</li> <li>■ Wettbewerbskomplexität</li> <li>■ Beschaffungskomplexität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kundenstrukturkomplexität</li> <li>■ Programmkomplexität</li> <li>■ Produktkomplexität</li> <li>■ Technologische Komplexität</li> </ul>
<b>Gesellschaftskomplexität</b>	<b>Autonome Unternehmenskomplexität</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Politik</li> <li>■ Wirtschaft</li> <li>■ Recht</li> <li>■ Ökologie</li> <li>■ Kultur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wettbewerbskomplexität</li> <li>■ Produktionsprogrammkomplexität</li> <li>■ Prozesskomplexität</li> <li>■ Organisationskomplexität</li> <li>■ Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme</li> </ul>

Abbildung 2: Interne und externe Komplexitätstreiber<sup>22</sup>

Unternehmen versuchen, bei sinkendem oder stagnierendem Absatz in deren wichtigsten Märkten, in neuen, meist weniger attraktiven Segmenten freie Kapazitäten auszulasten oder den Umsatz zu sichern. Durch die Einführung von zusätzlichen Varianten steigt jedoch die interne Komplexität und es erfolgt ein Anstieg der Komplexitätskosten, die unter Umständen im Rahmen von Preissteigerung an den Markt weitergegeben werden müssen. Die sich hieraus ergebende Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit schließt den Kreis, dem die Unternehmen ohne geeignetes Management nicht mehr entfliehen können. Ein solches Unternehmen ist dann offensichtlich nicht mehr kontrollierbar.<sup>23</sup>

Häufig ist die Versuchung groß, sich durch eine verstärkte Kundenfokussierung dem harten Preiswettbewerb zu entziehen und gleichzeitig Kapazitäten besser auszulasten. Durch die Einführung neuer kundenindividueller Produkte beziehungsweise Produktvarianten, sowie einer hohen Flexibilität bei der Konfiguration der Produktsys-

<sup>22</sup> Vgl.: Kirchhof (2003), S. 41

<sup>23</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 16

teme wird versucht, bestehende Kunden zu halten sowie zusätzliche Kunden zu gewinnen. Übertriebene Kundennähe führt jedoch zu einer nicht mehr kontrollierbaren externen Komplexität und damit zu erheblichen Effizienzverlusten im Leistungserstellungsprozess.<sup>24</sup>

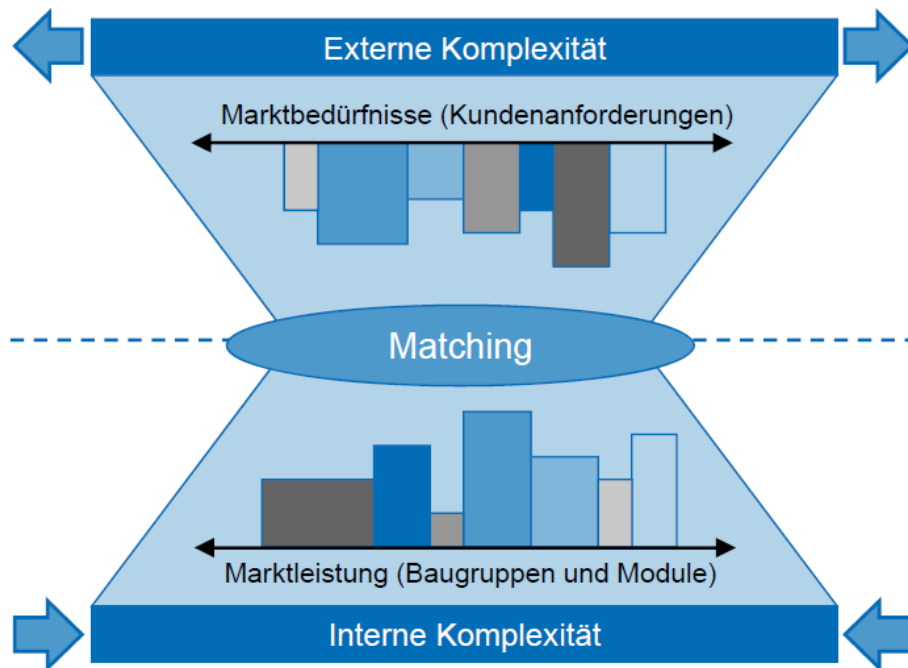


Abbildung 3: Interne und externe Komplexität<sup>25</sup>

#### 1.2.4 Folgen der Komplexität

Durch die Einführung von zusätzlichen Typen oder Sonderausstattungen werden überdurchschnittliche Deckungsbeiträge erwartet. Der erwartete positive Effekt ist jedoch nur dann gegeben, wenn der höhere Preis über den durch die Varianz zusätzlich verursachten Kosten liegt. Die durch die Einführung zusätzlicher Varianten erwarteten Volumeneffekte werden jedoch überschätzt, und die sich daraus ergebenden Vielfaltswirkungen unterschätzt. Meist sind durch die Einführung zusätzlicher Leistungen aber nur geringe Mengenausweitungen erzielbar. Diesen steht ein erheblicher Anstieg der komplexitätsbedingten Rüst- und Nebenzeitkosten (Einzelkosten der Fertigung) sowie verschiedene Gemeinkosten gegenüber. Über Preissteigerun-

<sup>24</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 18

<sup>25</sup> Vgl.: Ebenda, S. 13

gen werden die zusätzlichen Komplexitätskosten an den Markt weitergegeben, so dass sich die Wettbewerbsfähigkeit weiter verschlechtert.<sup>26</sup>

Durch strategische Fehler in der Produkt- und Leistungsplanung sehen sich viele Hersteller mit folgender Situation konfrontiert. Ausgehend von einem ursprünglichen einfachen Produktprogramm, das zunächst nur ein Standardprodukt und wenige Grundtypen umfasste, hat sich die Variantenvielfalt drastisch erhöht, das heißt, die Häufigkeitsverteilung hat sich durch Einzelanfertigungen und weniger Standardprodukte verflacht, siehe Abbildung 4.<sup>27</sup>

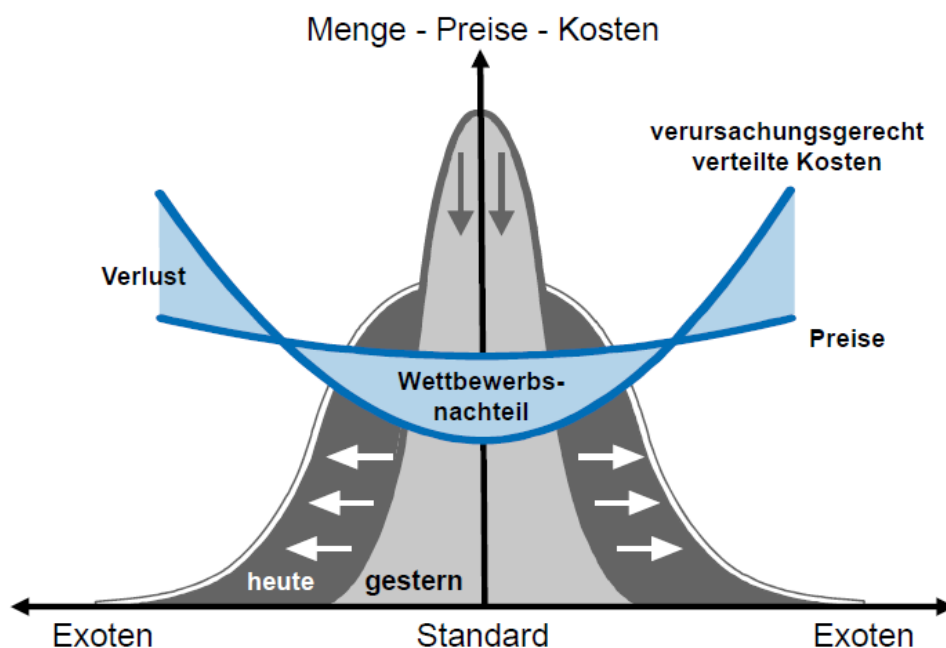


Abbildung 4: Änderung durch die Komplexität<sup>28</sup>

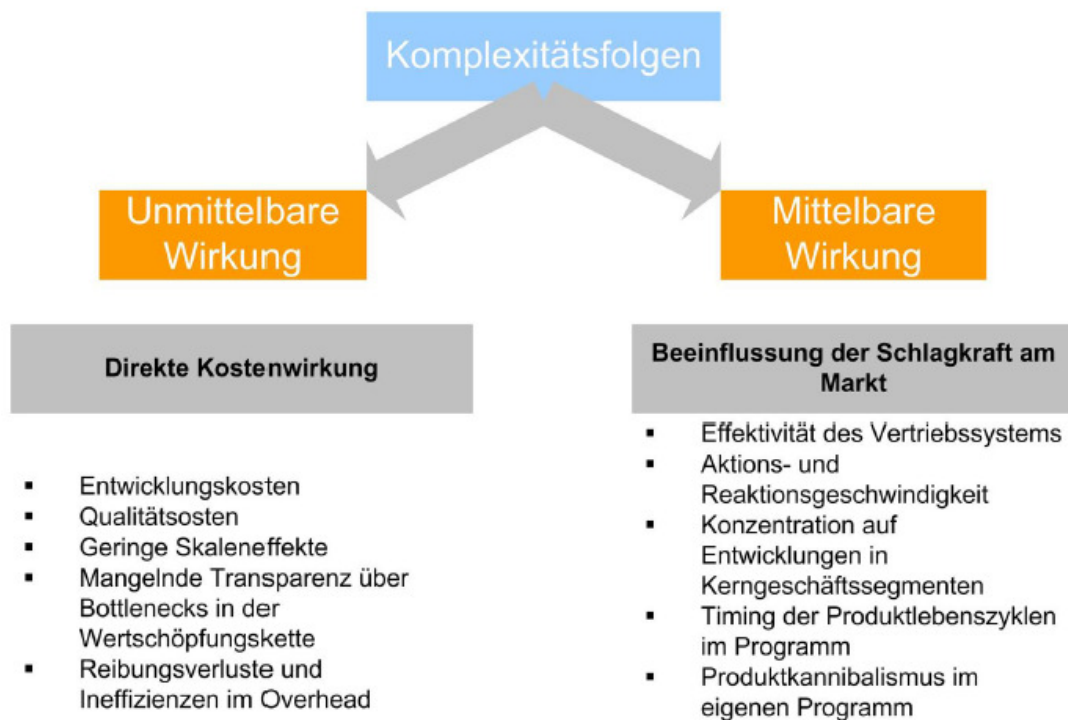
Ein wesentliches Problem ist fehlende Transparenz der Kosten, die infolge der Ausweitung der Produktvarianten durch die Effizienzverluste im Leistungserstellungsprozess anfallen. Typischerweise werden die Exoten des Produktspektrums zu Preisen unterhalb der tatsächlich verursachten Kosten verkauft. Durch diese Quersubventionierung entsteht im Bereich des Standards zwangsläufig ein Wettbewerbsnachteil gegenüber Konkurrenten mit einem weniger variantenreichen beziehungsweise besser fokussierten Leistungssystem. Die unsystematische und zum Teil auf falsch interpretierte Kundenorientierung zurückführende Entwicklung neuer Produktvarianten kann somit zu einer existenzgefährdenden Einbuße der Wettbewerbsfähigkeit führen.

<sup>26</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 19

<sup>27</sup> Vgl.: Ebenda, S. 20

<sup>28</sup> Vgl.: Ebenda, S. 20

Bei vielen der betroffenen Unternehmen ist eine gewisse Orientierungslosigkeit festzustellen. Mangelnde Transparenz über Ursachen und Wirkung führen dazu, dass häufig nur die Symptome der Komplexität angegangen und keine Maßnahmen entwickelt werden, die bei den Ursachen der Komplexität selbst ansetzen. In Abbildung 5 werden weitere Komplexitätsfolgen aufgezählt.



**Abbildung 5: Wirkungen der Komplexitätsveränderung<sup>29</sup>**

Die zunehmende Komplexität in den Unternehmen macht den Einsatz eines geeigneten Managements von Produktstruktur und eine Gliederung der Erzeugnisse erforderlich. In der Literatur existieren viele Methoden, die im Zusammenhang mit dem Umgang der Komplexität genannt werden. Es erfolgt eine Strukturierung in die Begriffe Vermeidung, Reduzierung und Beherrschung. Ein Management von Komplexität ist besonders wirksam, wenn es auf die präventive Beschränkung beziehungsweise Vermeidung von Komplexität durch Maßnahmen der strategischen Positionierung des Unternehmens, der Programm- und Produktgestaltung und der Gestaltung der Organisationsarchitektur abzielt. Eine Vielzahl von Unternehmen hat dies bereits erkannt. So setzen Automobilhersteller seit längerem auf Plattformkonzepte, um Wiederholeffekte einerseits durch Einsatz von Gleichteilen in den verschiedenen

<sup>29</sup> Schuh (2005), S. 21



Marken und Modellen, andererseits durch Entkopplung der Lebenszyklen verschiedener Baugruppen zu erreichen.<sup>30</sup>

### **1.3 Zielsetzung**

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Schaffung eines Überblicks hinsichtlich des Einsatzes eines Konfigurators im Sondermaschinenbau. Die Möglichkeiten und Risiken sollen diskutiert werden, um die Auswirkungen auf die Tätigkeiten des Konstrukteurs erläutern zu können. Dazu ist die Beschreibung der Konstruktionsaufgaben in den unterschiedlichen Prozessphasen erforderlich.

Für die Themenbearbeitung ist im ersten Schritt die Begriffsabgrenzung hinsichtlich Konstruktion, Produktarchitektur, Modulbaukasten und Produktkonfiguratoren vorzunehmen. Abhängig vom Begriff inkludiert dies die Definition, die Funktion, die Abgrenzung und die möglichen Untergrenzen. Die theoretischen Grundlagen sind die Basis für die gesamte wissenschaftliche Arbeit.

Im Rahmen dieser Arbeit ist es notwendig, einen Ansatz durch die systematische Untersuchung der Produktstruktur im Anwendungszusammenhang darzustellen. Ein Produktstrukturmodell soll die Freiheitsgrade aufzeigen, die bei der Strukturierung eines Produktes bestehen. Ferner soll dargestellt werden, durch welche Maßnahmen die Produktstrukturgröße beeinflusst werden kann, und welche Kenngrößen den Charakter der Produktstruktur wiedergeben.<sup>31</sup>

Die zentrale Herausforderung heutiger Produktentwicklungsprozesse besteht darin, dem Kunden stark individualisierte Produkte schnell und zu günstigen Preisen anbieten zu können. Kunden möchten aus einer Vielzahl von Produkten und Produktvarianten ihr Produkt auswählen können, das den persönlichen Wünschen und Anforderungen perfekt entspricht. Im Idealfall sollte der Kunde sein Produkt in gewissen Grenzen selbst gestalten und konfigurieren können.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Einführung eines Konfigurators im Bereich der Konstruktion die Komplexität zu senken. Des Weiteren sollten sich die Interessen der Auftragskonstrukteure herausgliedern, um diese bei der Entwicklung des Konfigurators berücksichtigen zu können.

---

<sup>30</sup>Vgl.: Mayer (2007), S. 32

<sup>31</sup>Vgl.: Rapp (2010), S. 2

Die oben genannten Ziele der Arbeit sollen durch folgende Fragestellungen erreicht werden:

- Was ist unter Komplexität zu verstehen?
- Was sind die Aufgaben der Konstruktion im Maschinen-/Anlagenbau?
- Welche Auswirkungen hat die Einführung eines Konfigurators für die Arbeit des Konstrukteurs im Sondermaschinenbau?

## **1.4 Methodisches Vorgehen/Aufbau der Arbeit**

Im ersten Abschnitt der wissenschaftlichen Arbeit über den Einsatz eines Konfigurators im Sondermaschinenbau, wurde die Ausgangssituation und Problematik beschrieben, weiteres wurde auf die Komplexität genauer eingegangen und anschließend wurde das Ziel der Arbeit festgelegt.

Im zweiten und dritten Abschnitt erfolgt eine Darstellung der theoretischen Grundlagen, die für das Verstehen der wissenschaftlichen Arbeit notwendig sind. Eine allgemeine Begriffserklärung von Konstruktionsprozessen, mit den vier Phasen des Konstruktionsprozesses und den verschiedenen Konstruktionsarten, und Produktstrukturierung, mit den unterschiedlichen Strukturen und Produktarchitekturen sowie die Beschreibung von Modulbaukasten und Produktkonfigurator wird durchgeführt. Je nach Begriff wird die Geschichte, die Definition, die Funktion, die Abgrenzung, die Untergliederung und die entsprechenden Ziele erörtert.

Im vierten Abschnitt wird auf die Komplexitätsreduktion im Sondermaschinenbau eingegangen. Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln, wird auf die Situation im Sondermaschinenbau übertragen. Es werden die verschiedenen Konstruktionsabläufe im Sondermaschinenbau näher betrachtet und analysiert. Diese Verfahren werden mit der Konstruktion mit Konfiguratoren gegenübergestellt. Anschließend werden die Auswirkungen auf die Konstruktionsprozesse und die Auswirkungen auf den Konstrukteur beschrieben.

Anschließend werden die Erkenntnisse der wissenschaftlichen Arbeit in einem Fazit zusammengefasst.

## 2 Konstruktionsprozesse

### 2.1 Einführung in die Konstruktion

Betrachtet man das Erscheinen neuer technischer Produkte auf dem Markt, seien es relativ einfache technische Gebrauchsgegenstände oder komplizierte technische Systeme, wie beispielsweise Raumfahrtssysteme, so stellt man fest, dass diesen eine Fülle von Ideen vorangegangen sein muss, um sie in einer Vollkommenheit entstehen zu lassen, wie sie derzeitige Produkte üblicherweise besitzen. Bei dem heutigen hohen Perfektionsgrad technischer Produkte sind es bei deren Wettstreit oft nur Kleinigkeiten, welchen den Erfolg oder Misserfolg eines Produktes ausmachen. Der wesentliche Erfolg eines Unternehmens hängt auch von der Qualität und Konkurrenzfähigkeit der erzeugten Produkte ab. Voraussetzung dafür ist die Leistungsfähigkeit der Forschung, der Konstruktion und der Fertigung des betreffenden Betriebs.<sup>32</sup>

Es ist die Aufgabe des Konstrukteurs, für technische Probleme Lösungen zu finden. Er stützt sich dabei auf natur- und ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse und berücksichtigt stoffliche, technologische und wirtschaftliche Bedingungen sowie gesetzliche, umwelt- und menschenbezogene Bedingungen beziehungsweise Einschränkungen.<sup>33</sup>

Solche Lösungen sollen vorgegebene und/oder selbstgestellte Anforderungen in optimaler Weise erfüllen. Nach der Klärung und Präzisierung werden aus Problemen häufig konkrete Teilaufgaben, die der Ingenieur bei der Realisierung technischer Produkte zu bearbeiten hat. Der Konstrukteur ist an der Lösungsfindung und Produktentwicklung in herausragender Weise und verantwortlicher Stelle beteiligt, da seine Ideen, Kenntnisse und Fähigkeiten in entscheidender Art die technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Eigenschaften des Produkts beim Hersteller und Nutzer bestimmen. Konstruieren ist eine Ingenieurstätigkeit, die praktisch alle Gebiete des menschlichen Lebens berührt, sich der Gesetze und Erkenntnisse der Naturwissenschaften bedient, zusätzlich auf spezielles Erfahrungswissen aufbaut und die Voraussetzungen zur stofflichen Verwirklichung von Lösungsideen schafft.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> Vgl.: Koller (2013), S.1

<sup>33</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S.1

<sup>34</sup> Vgl.: Pahl, Beitz (1997), S.1

Das Konstruieren ist eine schöpferische-geistige Tätigkeit, die ein sicheres Fundament an Grundlagenwissen auf den Gebieten der Mathematik, Physik, Chemie, Mechanik, Wärme- und Konstruktionslehre, aber auch Kenntnisse und Erfahrungen des jeweils zu bearbeitenden Fachgebiets erfordert. Dabei sind Entschlusskraft, Entscheidungsfreudigkeit, wirtschaftliche Einsicht, Ausdauer, Optimismus und Teambereitschaft wichtige Eigenschaften, die dem Konstrukteur dienlich und in verantwortlicher Position unerlässlich sind.<sup>35</sup>

Methodisch ist Konstruieren ein Optimierungsprozess, basierend auf dem allgemeinen Problemlösungsprozess, mit dem Ziel, die technische Aufgabenstellung und der folgenden Randbedingungen wie Zeit, Budget, Ressourcen, Stand der Technik, Normen und Gesetzeslage bestmöglich zu erfüllen.<sup>36</sup>

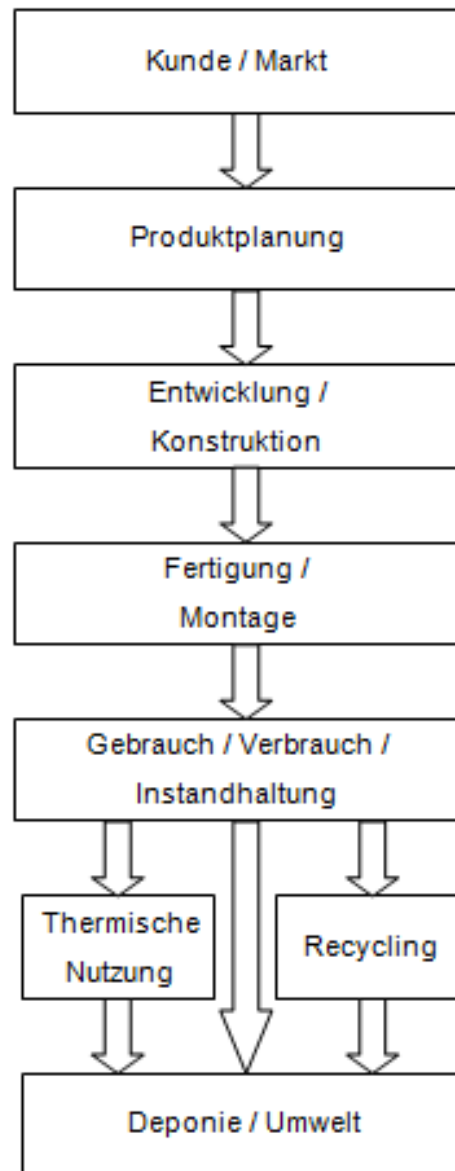
Organisatorisch ist das Konstruieren ein wesentlicher Teil des Produktlebenszyklus. Dieser wird vom Kunden beziehungsweise Markt initiiert, beginnt mit dem Vertrieb und endet nach dem Produktgebrauch beim Recycling oder einer anderen Art der Entsorgung. Stellt man einen Prozess mit einer Wertschaffung von der Idee bis zum Produkt dar, kann der Konstrukteur seine Aufgaben nur in enger Zusammenarbeit mit anderen Bereichen und Menschen unterschiedlicher Tätigkeiten bewältigen.<sup>37</sup>

---

<sup>35</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S.2

<sup>36</sup> Vgl.: Rieg, Steinhilper (2012), S.395

<sup>37</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S.2



**Abbildung 6: Lebenslauf eines Produktes<sup>38</sup>**

Einfluss auf die Arbeit des Konstrukteurs hat auch die Produktart, denn an diese ist meist die Stückzahl gekoppelt. Grundsätzlich wird zwischen Einzel- und Serienprodukten unterschieden. Einzelprodukte werden in der Regel von einzelnen, konkreten Kunden beauftragt und vom Herstellerunternehmen speziell für diesen Kunden zugeschnitten und entwickelt. Aufgrund der geringen Stückzahl, auf die die Entwicklungskosten verteilt werden können, werden teilweise aufwendige Untersuchungen nicht durchgeführt und somit kommt es nicht selten zu Nachbesserungen nach Auslieferung und Inbetriebnahme des Produktes. Im Gegensatz zu Einzelprodukten herrscht bei Serienprodukten eine höhere Stückzahl. Auftraggeber ist hier das eigene Unternehmen, da der einzelne Kunde nicht bekannt ist. Kundenwünsche werden über

<sup>38</sup> Vgl.: Naefe (2012), S. 10

Marktstudien ermittelt. Je größer die Stückzahl eines Produktes ist, desto größer ist die Auswirkung eines Serienfehlers, der wegen der hohen Kosten zu seiner Beseitigung und wegen des Imageschadens für den Hersteller zu vermeiden ist. Hier lohnt es sich umso mehr, durch umfangreiche Berechnungen und Versuche an Teilsystemen und Prototypen verschiedener Entwicklungsstufen, deren Kosten auf die hohe Stückzahl verteilt werden können, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers am Produkt zu vermeiden.<sup>39</sup>

Die Entwicklung von Einzelprodukten erfolgt in der Regel durch einen einmaligen Durchlauf der wichtigsten Abteilungen. Versuch und Erprobungen werden, falls erforderlich beim Kunden durchgeführt. Bei Kleinserienprodukten ist es sinnvoll ein Funktionsmuster oder Labormuster, die im Rahmen einer Produktverbesserung die Abteilungen noch einmal durchlaufen. Serienprodukte beinhalten das wiederholte durchlaufen der Abteilungen um mit den neuen Erkenntnissen oder Informationen aus dem Musterbau und der Nullserienprobung das Produkt zu optimieren. Die ergebnen Abläufe im Unternehmen bei verschiedenen Fertigungsarten zeigt Abbildung 7.<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> Vgl.: Rieg, Steinhilper (2012), S.396

<sup>40</sup> Vgl.: Conrad (2013), S. 24

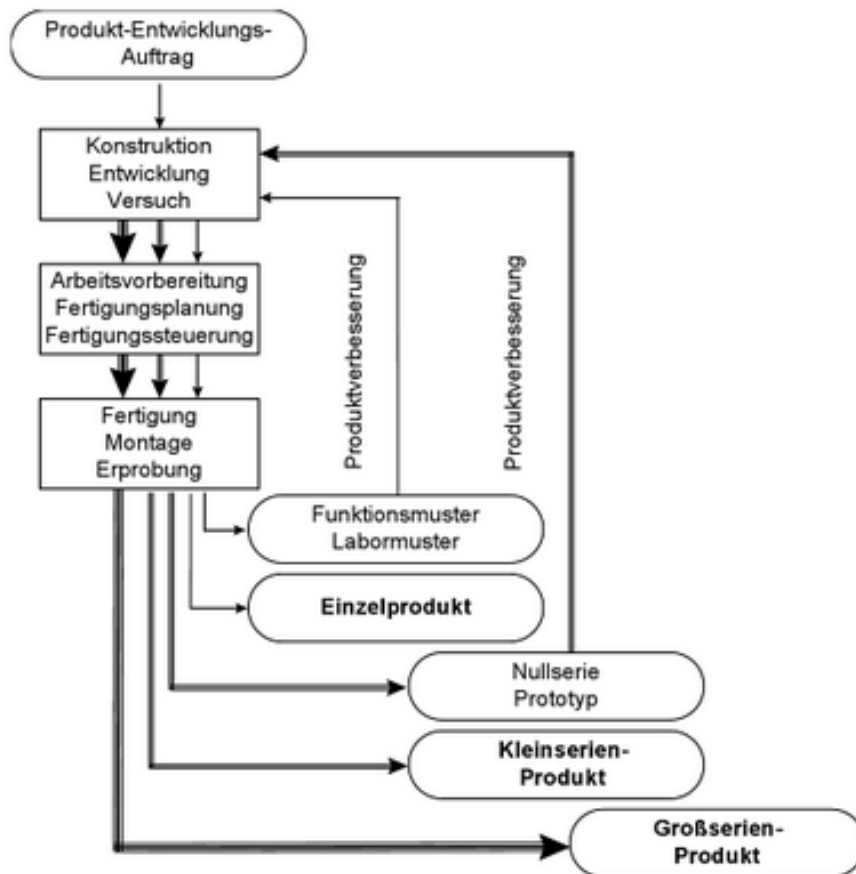


Abbildung 7: Einfluss der Stückzahl auf den Entwicklungsaufwand<sup>41</sup>

### 2.1.1 Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess, der sich vor die Fertigung und Montage bei der Entstehung eines Produktes einordnen lässt, ist der Dreh- und Angelpunkt des methodischen Konstruierens.<sup>42</sup>

Der Prozess des Konstruierens ist ein kreativer Vorgang, im dem eine definierte technische Lösung für geforderte Produkteigenschaften erarbeitet wird. Ausgangspunkt dafür sind die Kenntnisse der technischen Funktionen, ihre technische Ausprägung, das Zusammenwirken unterschiedlicher Bauteile und Materialien. An die Konstruktion werden zusätzliche wichtige Forderungen gestellt. Die Konstruktion muss fertigungsgerecht das heißt mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand fertigbar sein, wartungsgerecht das heißt mit geringem Aufwand gewartet werden können,

<sup>41</sup> Vgl.: Conrad (2013), S. 25

<sup>42</sup> Vgl.: Böge (2007), S. 112

recyclinggerecht das heißt die Produkte müssen einer Wiederverwertung zugeführt werden können und vor allem auch kostengerecht das heißt den Kostenanforderungen entsprechend sein. Die große Kunst des Konstruierens besteht also darin, die Konstruktionselemente als Funktionsträger optimal zu kombinieren, dass zum einen die technisch verlangten Funktionen erreicht werden und zum anderen die oben geschilderten Randbedingungen berücksichtigt werden.<sup>43</sup>

Das generelle Vorgehen beim Konstruieren wird laut VDI-Richtlinie 2221 in sieben Arbeitsschritte unterteilt. Abbildung 7 zeigt diese Schritte sowie die dabei jeweils erreichten Arbeitsergebnisse. Einzelne Arbeitsschritte können iterativ mehrfach durchlaufen werden, ein Überspringen von Abschnitten ist ebenfalls möglich. Insbesondere bei unterschiedlichen Konstruktionsarten werden nicht alle Schritte durchlaufen. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und den gestellten Anforderungen bestehen zudem Wechselwirkungen. Der fortlaufende Erkenntnisgewinn während des Konstruierens kann dazu führen, dass die Anforderungen angepasst und ergänzt werden müssen. Diese sieben Arbeitsschritte lassen sich, wie in Abbildung 7 gezeigt, in vier, sich teilweise überlappende, Konstruktionsphasen unterteilen. Die Ausgestaltung der Methoden, mit denen der Konstrukteur die Kosten eines Produktes beeinflussen kann, richtet sich stark an diesen Phasen aus. Daher wird auf deren Inhalte im nächsten Abschnitt näher eingegangen.<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup> Vgl.: Hering, Modler (2007), S. 368

<sup>44</sup> Vgl.: Fischer (2008), S. 2



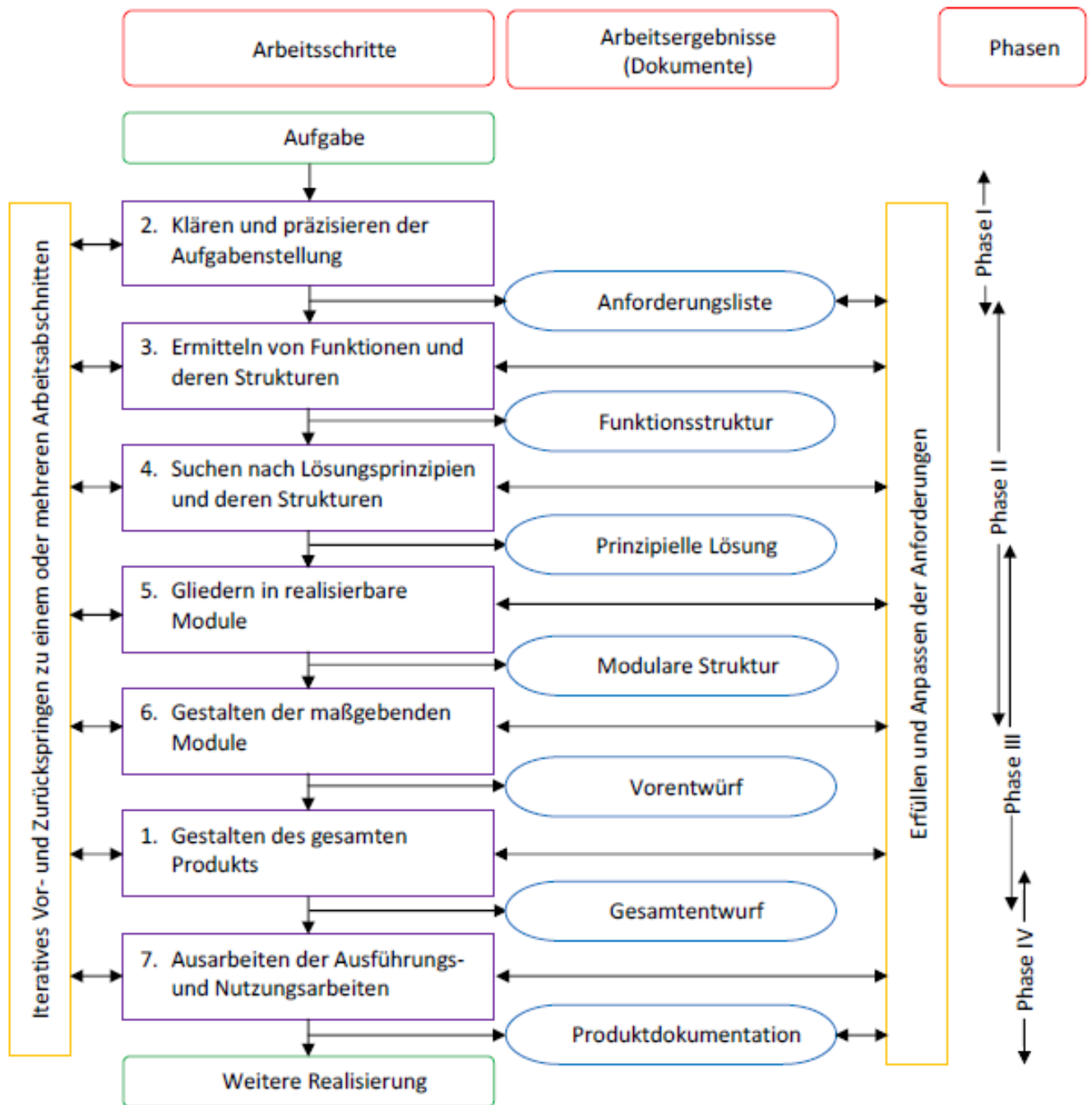


Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Konstruieren<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Vgl.: Naefe (2012), S. 35

## 2.1.2 Vier Phasen des Konstruktionsprozesses

Der Konstruktionsprozess (7 Arbeitsschritte) lässt sich in folgende vier Phasen einteilen:

- Phase I: Spezifikationsphase
- Phase II: Konzeptphase
- Phase III: Gestaltungsphase
- Phase IV: Ausarbeitungsphase<sup>46</sup>

Im Folgenden werden die einzelnen Konstruktionsphasen beschrieben.

### ***I Spezifikationsphase***

In dieser Phase wird die Aufgabenstellung, die zum Beispiel in Form eines Lastenheftes vorliegt, konkretisiert. Anhand der Forderungen des Auftraggebers an das Produkt, wird das Pflichtenheft abgeleitet, in dem die zur Erfüllung dieser Anforderungen notwendigen Hauptfunktionen bestimmt sind. Neben den technischen Anforderungen an das Produkt ist auch eine Kostenobergrenze festzulegen, die nicht überschritten werden darf. Anhand eines solchen Kostenziels werden in den späteren Phasen der Konstruktion wirtschaftlich nicht vertretbare Lösungen ausgesondert. Das Ergebnis der ersten Konstruktionsphase ist die informative Festlegung in einer Anforderungsliste, welche die Ziele und Bedingungen der zu lösenden Aufgabe enthält. Diese Anforderungen werden in der Regel unterteilt in Forderungen, die in jedem Fall erfüllt werden müssen und meist quantitativ festgeschrieben werden und Wünsche die nach Möglichkeit zu erfüllen sind und in der Regel eine stärkere qualitative Beschreibung aufweisen.<sup>47</sup>

### ***II Konzeptphase***

Beim Konzipieren werden ausgehend von den in der ersten Konstruktionsphase festgelegten Hauptfunktionen die Teilfunktionen des Produktes formuliert und die physikalischen Wirkprinzipie bestimmt, mit denen diese Teilfunktionen erfüllt werden sollen. Durch die Kombination dieser Wirkprinzipien zu Wirkstrukturen werden mehrere prinzipielle Lösungen ermittelt. Diese Lösungsvarianten werden dann anhand ihrer wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte beurteilt und

---

<sup>46</sup> Vgl.: Gollan, Paul, Schmitt (1988), S. 238

<sup>47</sup> Vgl.: Fischer (2008), S. 4

bewertet. Auf dieser Basis kann der Entschluss getroffen werden, welches Konzept weiter zu verfolgen ist. Oft kann es sein, dass mehrere Varianten nahezu gleichwertig erscheinen und eine endgültige Entscheidung erst nach weitergehender Konkretisierung möglich ist. Auch können sich zu einem Lösungsprinzip mehrere Gestaltungsvarianten anbieten. Der Konstruktionsprozess wird auf der Ebene des Gestaltens fortgesetzt.<sup>48</sup>

### ***III Gestaltungsphase***

Ist jener Teil des Konstruierens, der für ein technisches Gebilde von der Wirkstruktur beziehungsweise prinzipiellen Lösung ausgehend die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet wird. Dies betrifft mit der geometrischen Gestalt des Konstruktionsobjektes auch die Festlegung und Dimensionierung der einzelnen Systemkomponenten. Es werden auch die wesentlichen stofflichen Merkmale des geplanten Produktes bestimmt. In vielen Fällen wird man mehrere Entwürfe anfertigen um zu einem besseren Informationsstand über Vor- und Nachteile der Varianten zu gelangen. Nach dem Bewerten der einzelnen Lösungsvarianten erscheint eine besonders favorisiert, aber durch die Teillösungen der anderen, die in der Gesamtheit nicht so günstig erscheinen, kann durch entsprechende Kombination und Übernahme solcher Teillösungen sowie durch Beseitigen von Schwachstellen die endgültige Lösung gewonnen werden und die Entscheidung für die abschließende Gestaltung des endgültigen Gesamtentwurfs fallen. Der endgültige Gesamtentwurf stellt schon eine Kontrolle der Funktion, der Haltbarkeit, der räumlichen Verträglichkeit und so weiter dar, wobei sich die Anforderungen bezüglich der Kostendeckung nun spätestens hier als erfüllbar darstellen müssen. Erst dann ist die Freigabe zur Ausarbeitung zulässig.<sup>49</sup>

### ***IV Ausarbeitungsphase***

Ist der Teil, der die Baustruktur eines technischen Produkts durch endgültige Vorschriften für Form, Bemessung und Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile, Festlegung aller Werkstoffe, Überprüfung der Herstellmöglichkeit sowie der endgültigen

---

<sup>48</sup> Vgl.: Fischer (2008), S. 5

<sup>49</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S. 196

Kosten ergänzt und die verbindlichen zeichnerischen und sonstigen Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung schafft.<sup>50</sup>

In der Praxis ist es nicht möglich diese vier Phasen vollständig voneinander zu trennen, da die abschließende Beurteilung einer Lösung oft deren Konkretisierung erfordert. Hieraus ergibt sich ein iterativer Wechsel zwischen den einzelnen Konstruktionsphasen. Ebenso können es die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Komponenten innerhalb der Baustruktur eines Produktes notwendig machen, mehrfach zwischen den einzelnen Phasen zu wechseln.<sup>51</sup>

### **2.1.3 Konstruktionsarten**

Das Unterscheiden in verschiedene Konstruktionsarten verfolgt den Zweck, die der Konstruktion zugrunde liegende Konstruktionsaufgabe sowie die daraus resultierenden Arbeitsschritte besser beschreiben zu können. Anhand der besseren Beschreibung einer speziellen Konstruktionsaufgabe kann das systematische Vorgehen beim Konstruieren, das als Konstruktionsprozess bezeichnet wird, vereinfacht werden. Aus den resultierenden Erleichterungen kann zur Erkenntnis geführt werden, dass bei bestimmten Konstruktionsarten der Konstruktionsprozess nur zur Gänze durchlaufen werden muss. Die Konstruktionsarten zeigen auf, an welcher Stelle im Konstruktionsprozess eingesetzt werden muss. Um die Möglichkeiten einer solchen Vereinfachung nutzen zu können, erscheint es notwendig, vor der detaillierten Darlegung des methodischen Vorgehens beim Konstruieren eine Klassifizierung in bestimmte Konstruktionsarten vorzunehmen.<sup>52</sup>

Entsprechend den in der Konstruktionspraxis bekannten vielseitigen Konstruktionsaufgaben existieren viele Beziehungen für Konstruktionsarten. Um eine einheitliche und eindeutige Begriffsverwendung in dieser Arbeit sicherzustellen, werden die beiden Klassen von Konstruktionsarten dargelegt. Die erste Konstruktionsklasse wird nach dem Kriterium gegliedert, das den Auslöser für die gestellte Konstruktionsaufgabe kennzeichnet. Dabei werden Entwicklungs-, Angebot-, Auftrag-, und Betriebsmittelkonstruktion unterschieden. In der zweiten Klasse wird nach dem Kriterium des Innovationsgehaltes der betreffenden Konstruktionsaufgabe differenziert. Hier wird nach den Konstruktionsarten Neu-, Anpassung-, Variantenkonstruktion sowie Kon-

---

<sup>50</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S. 197

<sup>51</sup> Vgl.: Fischer (2008), S. 5

<sup>52</sup> Vgl.: Schmidt (1996), S.16

struktion mit festem Prinzip differenziert. Die unter den genannten Kriterien einzuordnenden Konstruktionsarten werden in Abbildung 9 dargestellt.<sup>53</sup>

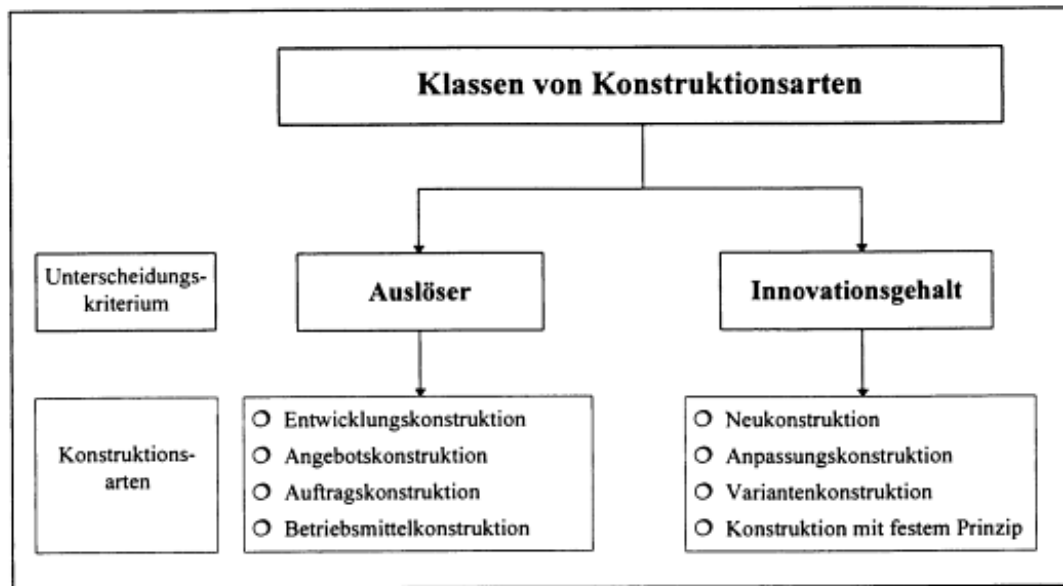


Abbildung 9: Unterscheidung der verschiedenen Konstruktionsarten nach speziellen Kriterien<sup>54</sup>

### 2.1.3.1 Differenzierung nach dem Auslöser einer Konstruktionsaufgabe

Das Kriterium des Auslösers einer Konstruktionsaufgabe und die danach zu unterscheidenden Konstruktionsarten liefern Hinweise auf die Herkunft der Konstruktionsaufgabe. Anhand der Herkunft der Konstruktionsaufgabe können resultierende Abläufe in der Unternehmung betrachtet und damit ablauforganisatorische Aspekte in den Vordergrund gestellt werden. Im Folgenden werden die nach dem Kriterium des auslösenden Momentes einer Konstruktionsaufgabe differenzierten Konstruktionsarten dargestellt:<sup>55</sup>

- **Entwicklungskonstruktion:** Eine Entwicklungskonstruktion ist vor allem in Unternehmen die langlebige Konsum- oder Investitionsgüter herstellen notwendig. Anstoß für die Produktentwicklung ergibt sich aus der Marktsituation und aus der Kenntnis des Kundenkreises. Hierbei wird zunächst die Nachfrage und die Anforderung an ein neues Produkt durch Methoden des Marketings und der Produktplanung anhand umfangreicher Marktstudien ermittelt und do-

<sup>53</sup> Vgl.: Ebenda, S. 16

<sup>54</sup> Vgl.: Schmidt (1996), S.17

<sup>55</sup> Vgl.: Ebenda, S. 17

kumentiert. Durch diese Grundlage ist es der Entwicklungskonstruktion möglich, ein Produkt bis zur Fertigungsreife zu entwickeln. Nach Abschluss der Entwicklung kann es unter Umständen zu konstruktiven Verbesserungen und Weiterentwicklungen aufgrund von unternehmensinternen oder –externen Anregungen kommen.<sup>56</sup>

- **Angebotskonstruktion:** Prozesse im Angebotsstadium sind in der Regel keine Neuentwicklung von Produkten, da sich Kundenanfragen vornehmlich auf das vorhandene Produktspektrum beziehen. Ein Angebot, bestehend aus der technischen Lösung, dem Preis, dem Liefertermin sowie den Verkaufsbedingungen, ist in vielen Fällen der entscheidende Kontakt zwischen dem Hersteller und dem Kunden. Jede Kundenanfrage löst im Vertriebs- oder Offertbereich einen Arbeitsprozess mit dem Ziel aus, in möglichst kurzer Zeit eine den Kundenwünschen entsprechende technische Lösung anzubieten. Diese Lösung wird dabei meist nur bis zur Abschätzung ihrer Realisierbarkeit verfolgt, um die Grundlagen für eine Preisbildung zu erhalten. In vielen Fällen kann diese Arbeit sehr umfangreich sein. Die Tatsache, dass in vielen Fällen der Anteil der Angebote, die zu einem Auftrag führen sehr gering ist, zeigt die Bedeutung dieser Auftragsart in Unternehmen mit überwiegend kundenauftragsbezogener Fertigung im Hinblick auf den Aufwand.<sup>57</sup>
- **Auftragskonstruktion:** Eine Auftragskonstruktion wird durch einen konkreten Auftrag eines Kunden ausgelöst, der die Bearbeitung einer konkreten Problemstellung zum Ziel hat. Häufig ist dem Kundenauftrag eine Kundenanfrage vorausgegangen. Insofern ist der Auftragskonstruktion häufig eine Angebotskonstruktion vorangegangen. In diesem Fall bildet die über die Angebotskonstruktion erarbeitete technische Lösung die Basis der weiteren, endgültigen Ausarbeitung, die mit dem Erstellen aller Fertigungs- und Montageunterlagen schließt.<sup>58</sup>
- **Betriebsmittelkonstruktion:** Der Betriebsmittelentwicklung fällt die Aufgabe, meist unternehmensintern, zu, für die Fertigung bestimmter Einzelteile beziehungsweise die Montage von Baugruppen geeignete Vorrichtungen, Werkzeuge oder auch Sondermaschinen zu entwickeln. Die entwickelnden und konstruierten Betriebsmittel sollen die Fertigungsprozesse bestimmter Einzel-

---

<sup>56</sup> Vgl.: Eversheim (1996), S. 62

<sup>57</sup> Vgl.: Warnecke (1984), S. 176

<sup>58</sup> Vgl.: Schmidt (1996), S. 18

teile beziehungsweise die Montage von bestimmten Baugruppen erleichtern oder ermöglichen. Die entsprechenden Aufträge werden im Allgemeinen von der Fertigungsplanung ausgelöst. Die organisatorische Eingliederung der Betriebsmittelentwicklung erfolgt auch meist in diesem Bereich.<sup>59</sup>

### **2.1.3.2 Differenzierung nach dem Innovationsgehalt einer Konstruktionsaufgabe**

Die Differenzierung nach dem Kriterium des Innovationsgehaltes einer Konstruktionsaufgabe ermöglicht, den für die Lösung einer Konstruktionsaufgabe notwendigen zeitlichen und personellen Aufwand einschätzen zu können. Der Bearbeitungsaufwand von konstruktiven Aufgaben ist im hohen Maße davon abhängig, ob sich bereits bekannte Lösungen ganz oder zu bestimmten Teilen übernehmen lassen. Müssen viele Teillösungen neu ausgearbeitet werden, so ist der Innovationsgehalt der Konstruktion als hoch einzustufen. Die Konstruktionsaufgabe kann sich auf Konstruktionsobjekte, wie beispielsweise einzelne Elemente, Baugruppen oder auf ein Produkt beziehen. Es besteht die Möglichkeit, dass bei einer Neukonstruktion eines Produktes nur einzelne Baugruppen neu zu konstruieren sind, dagegen werden andere Baugruppen als Anpassungs- oder Variantenkonstruktion erstellt. Insofern ist anzumerken, dass eine eindeutige Zuordnung von Konstruktionsaufgaben zu den hier betrachteten Konstruktionsarten nur möglich ist, wenn Klarheit über die Differenzierung des zugrunde liegenden Konstruktionsobjektes besteht. Im Folgenden werden die in Abbildung 10 nach Kriterium des Innovationsgehaltes gegliederten Konstruktionsarten, bezogen auf das Produkt, beschrieben.<sup>60</sup>

---

<sup>59</sup> Vgl.: Warnecke (1984), S. 177

<sup>60</sup> Vgl.: Schmidt (1996), S. 19

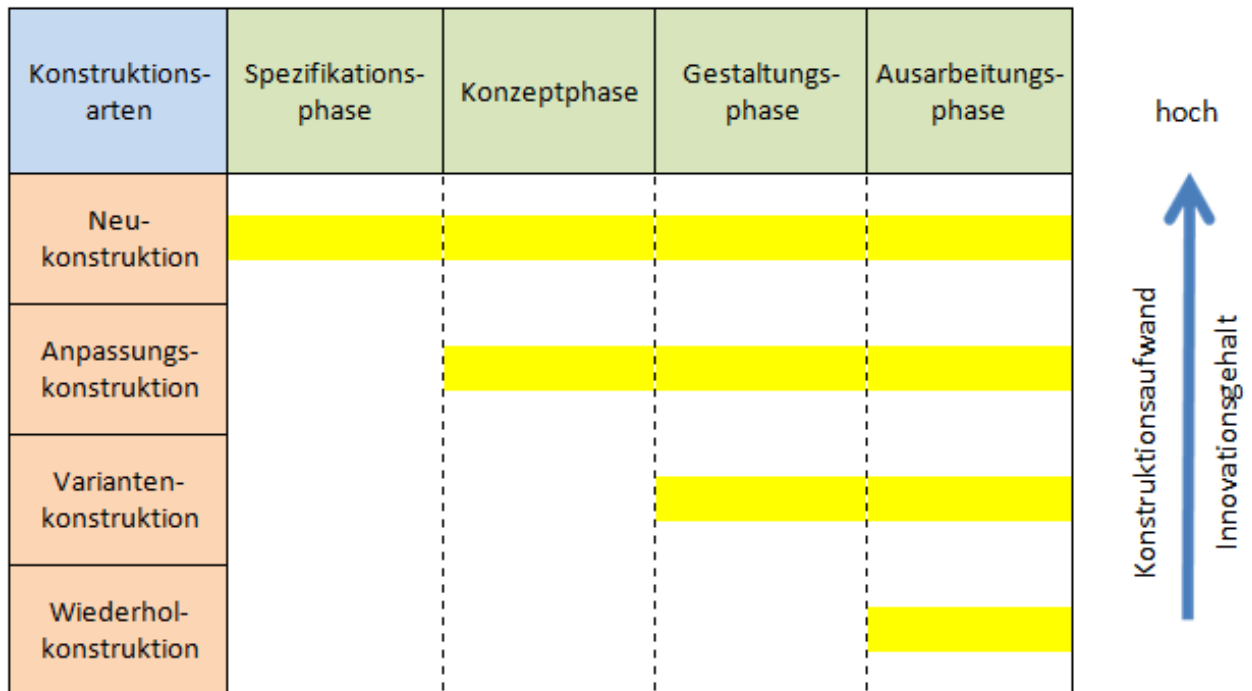


Abbildung 10: Zuordnung der Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen<sup>61</sup>

- **Neukonstruktionen:** Eine Neukonstruktion bezeichnet eine Konstruktionsaufgabe, deren Innovationsgehalt sehr hoch ist. Der hohe Innovationsgehalt ergibt sich dadurch, dass der Konstrukteur zur Lösung der Konstruktionsaufgabe ein neues Lösungsprinzip erarbeiten muss. Neukonstruktionen erfordern in der Regel ein Durchlaufen aller erläuterten Konstruktionsphasen. Darüber hinaus werden physikalische und verfahrenstechnische Grundlagen sowie eine umfassende technische wie auch wirtschaftliche Aufgabenklärung in den Prozess mit eingebunden. Die Bearbeitung einer Neukonstruktion erfordert, im Vergleich zu den anderen angeführten Konstruktionsarten, den größten zeitlichen und personellen Umfang.<sup>62</sup>
- **Anpassungskonstruktion:** Bei dieser Konstruktionsart bleibt man bei bekannten und bewährten Lösungsprinzipien und passt die Gestaltung an und verändert Randbedingungen. Oft ist es nötig einzelne Elemente oder Baugruppen neu zu konstruieren. Bei dieser Aufgabenart stehen geometrische, festigkeitsmäßige, fertigungs- und werkstofftechnische Fragestellungen im Vordergrund.<sup>63</sup>

<sup>61</sup> Vgl.: Eversheim (1996), S. 64

<sup>62</sup> Vgl.: Sprengel (2000), S. 13

<sup>63</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S. 4



- **Variantenkonstruktion:** Innerhalb der Variantenkonstruktion werden die Gestalt und die Dimensionen der Elemente einer Standardkonstruktion verändert, so dass hierbei ausschließlich die Gestaltungs- und Ausarbeitungsphase zu durchlaufen ist. Sie erfordern den wesentlichen Konstruktionsaufwand als Neukonstruktion einmalig vorab und es ergeben sich bei der Auftragsabwicklung keine größeren Konstruktionsprobleme mehr. Hauptsächlich werden bei dieser Konstruktionsart bestehende Modellpaletten erweitert oder Nachfolgemodelle entwickelt.<sup>64</sup>
- **Wiederholkonstruktion:** Dieser Typus ist durch die komplette Wiederverwendung eines bereits früher ausgeführten Auftrags gekennzeichnet. Teilweise sind nur geringfügige Detaillierungsarbeiten an örtlichen Aufstellungsbedingungen erforderlich. Im Wesentlichen geht es um die Erstellung der Dokumentation.<sup>65</sup>

### 3 Produktstrukturierung

#### 3.1 Kundenanforderungen

Am Anfang jedes Entwicklungsprozess steht der Kunde, der Anforderungen definiert, denen das spätere Produkt zu entsprechen hat. Allerdings ist die Stimme des Kunden oftmals nur sehr undeutlich und schwer vernehmbar. Potentielle Kunden sind meist nicht in der Lage, Wünsche und Vorstellungen bezüglich eines noch nicht existierenden Produktes klar in Worte zu fassen. Viele Anforderungen sind unbewusster Natur oder entwickeln sich erst mit zunehmender Kenntnis des Produktes. Diese sind in ihrer Funktion und Form selten bis nie als Standardprodukt beziehbar, aufgrund dieser enormen Spezialisierung sind derartig entwickelte Produkte nur selten für andere geeignet. Alle anfallenden Kosten und gewünschte Gewinnmargen müssen zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit somit in den Verkaufspreis, dieser einen Transaktion inkludiert werden. Erschwerend kommt die Dynamik des Marktes hinzu, bei einem langwierigen Entwicklungsprozess können sich die Anforderungen im Verlauf ändern und daher bildet sich keine verlässliche Grundlage. Unternehmen müssen

---

<sup>64</sup> Vgl.: Sprengel (2000), S. 14

<sup>65</sup> Vgl.: Wiendahl (2014), S. 127

deshalb versuchen, potentielle Anforderungen der Kunden an das zu entwickelnde Produkt zu interpretieren und antizipieren.<sup>66</sup>

### **3.2 Funktionen und Bedingungen**

Eine wesentliche Aufgabe des Produktentwicklungsprozesses besteht darin, die Kundenanforderungen sukzessive in Produktfunktionen zu übersetzen. Eine Funktion beschreibt den gewünschten Zweck eines Produktes oder seiner Komponenten. Eine Funktion kann in Haupt- und Nebenfunktionen unterteilt werden. Neben den geforderten Funktionen gibt es eine Reihe von Bedingungen, die eingehalten werden müssen. Bedingungen schränken die mögliche Anzahl von Lösungen ein, indem sie beispielsweise Vorgaben bezüglich Kosten, Sicherheit, Ergonomie und Recycling machen.<sup>67</sup>

### **3.3 Komponente, Baugruppe und Teil**

Komponenten sind technische Einheiten, die bestimmte Funktionen oder Teilfunktionen des Produktes erfüllen. Baugruppen stellen aus mehreren Komponenten zusammengesetzte Einheiten dar. Eine Komponente wird im jeweiligen Untersuchungskontext als kleinste betrachtete Einheit definiert. Ein Teil dagegen stellt eine sinnvoll nicht weiter zerlegbare Einheit auf der detailliertesten Betrachtungsebene dar.<sup>68</sup>

### **3.4 Schnittstellen und Verbindungen**

Zwischen den Komponenten eines Produktes bestehen zum Teil physische Beziehungen, die als Schnittstellen oder Verbindungen bezeichnet werden. Über Schnittstellen werden in der Regel Energie, Informationen oder Materie übertragen. Oftmals ist an dieser Verbindung noch ein weiteres Medium beteiligt, wie zum Beispiel ein physikalischer Kontakt, ein elektrisches Kabel, eine Schraube oder eine Flüssigkeitsleitung. Neben den physisch existenten Schnittstellen sind auch abstrakte Beziehungen von Bedeutung. Die vielleicht wichtigsten abstrakten Beziehungen einer Baustruktur sind die funktionalen Beziehungen zwischen Komponenten. Eine funktionale

---

<sup>66</sup> Vgl.: Eberhardt-Motzelt (2014), S. 21

<sup>67</sup> Vgl.: Jakoby (2013), S.83

<sup>68</sup> Vgl.: Pahl, Beitz, Feldhusen, Grote (2007), S. 39

Beziehung zwischen zwei Komponenten besteht dann, wenn sie gemeinsam der Erfüllung einer Funktion dienen. Weitere abstrakte Beziehungen ergeben sich aus der physischen Präsenz des Produktes in Raum und Zeit. So kann beispielsweise die räumliche Nähe zwischen zwei Komponenten eine wichtige Beziehung darstellen, beispielsweise wenn beide im gleichen Bauraum zusammentreffen oder sich durch die räumliche Nähe weitere Beziehungen wie zum Beispiel Wärmeübertragung ergeben. Ebenfalls den abstrakten Beziehungen zuordnen sind gestalterisch-ästhetische Beziehungen zwischen Komponenten, die Form und Aussehen des Produktes bestimmen.<sup>69</sup>

### **3.5 Funktionsstruktur und Produktionsstruktur**

In der Entwicklung wird ein Produkt mindestens aus zwei Perspektiven betrachtet, funktional und physisch. Wird ein Produkt als Ganzes betrachtet, so wird die entsprechende Funktion als Gesamtfunktion bezeichnet. Mit Hilfe einer Funktionsstruktur lassen sich die zu erfüllenden Funktionen eines Produktes in immer detailliertere Teilfunktionen zerlegen. Die Funktionsstruktur liefert somit, über ihre zusammenhängenden Ein- und Ausgangsgrößen, eine funktionale Beschreibung des Produktes. Die primäre Zielsetzung der funktionalen Dekomposition besteht darin, physische Komponenten zu entwickeln, die zur Erfüllung der geforderten Gesamtfunktion beitragen. Die Produktstruktur hingegen liefert die physische Beschreibung, diese physische Beschreibung stellt die Zusammensetzung der Komponenten des Produktes zu Baugruppen und schließlich dem Gesamtprodukt dar. Somit beschreibt die Produktstruktur eine mögliche Lösung zur physischen Realisierung der geforderten Produktfunktionen.<sup>70</sup>

Funktionsstruktur und Produktstruktur lassen sich in einer Hierarchie darstellen, bei der Funktionsstruktur steht die Gesamtfunktion an der Spitze bei der Produktstruktur handelt es sich um das Produkt.

---

<sup>69</sup> Vgl.: Göpfert (1998), S.97

<sup>70</sup> Vgl.: Brecher (2011), S. 102

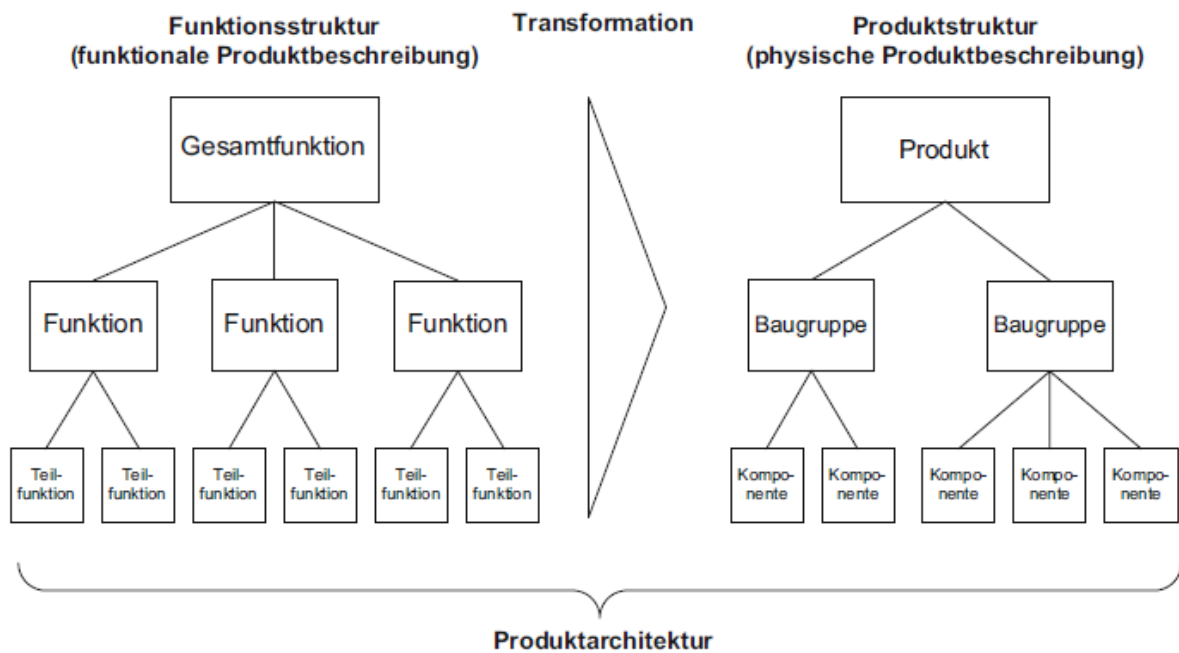


Abbildung 11: Funktions- und Produktstruktur hierarchisch dargestellt<sup>71</sup>

### 3.6 Produktarchitektur

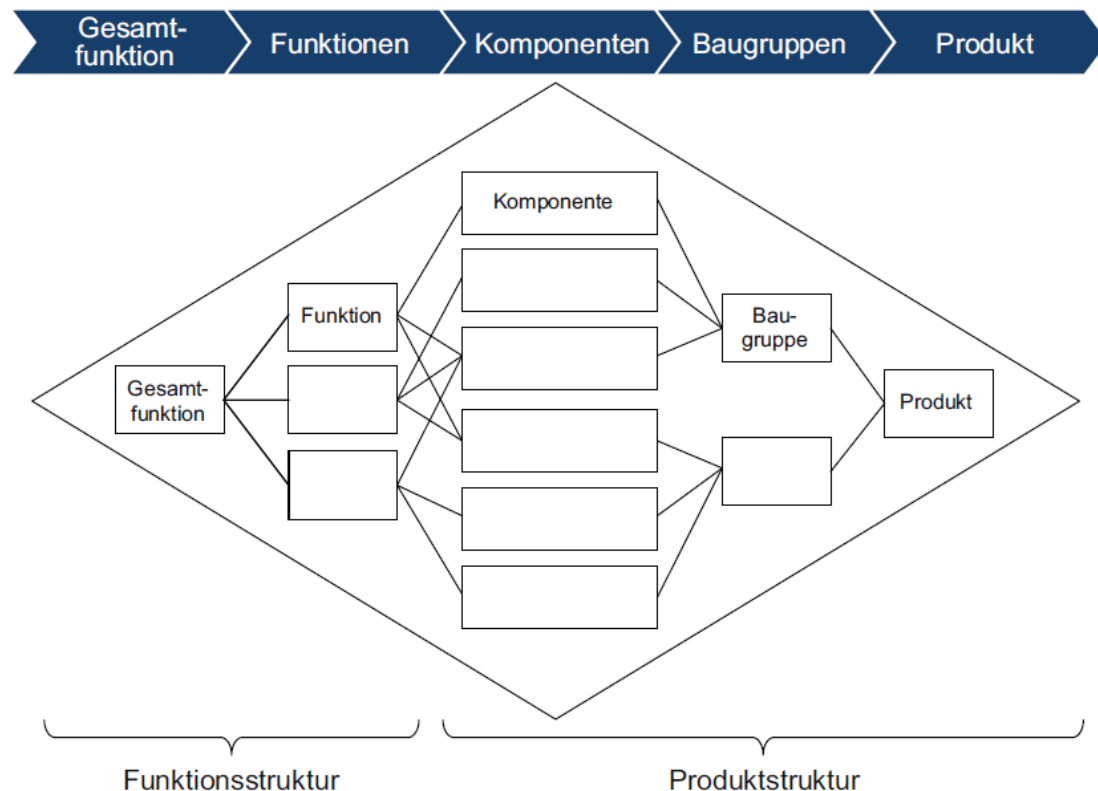
Funktionsstruktur und Produktstruktur werden in der Produktarchitektur miteinander verknüpft. Die Funktionsstruktur beschreibt, welche Funktionen und daraus abgeleitete Teilfunktionen das Produkt erfüllen muss. Aus den (Teil-)Funktionen lassen sich schließlich Komponenten ableiten, die diese Funktion technisch realisieren. Den physischen Aufbau der identifizierten Komponenten gibt die Produktstruktur wieder. Durch diese Verknüpfung der beiden Strukturen wird die Produktarchitektur über die folgenden drei Bestandteile definiert:

1. Die Funktionsstruktur des Produktes, das heißt die Aufgliederung der geforderten Funktion in Teilfunktionen und deren Beziehungen
2. Die Produktstruktur des Produktes, das heißt die physische Zusammensetzung der Komponenten eines Produktes
3. Die Transformation zwischen Funktions- und Produktstruktur, das heißt der Zusammenhang zwischen funktionaler und physischer Beschreibung des Produktes.<sup>72</sup>

<sup>71</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 256

<sup>72</sup> Vgl.: Schuh (2012), S. 117

Die Zusammenführung von Funktions- und Produktstruktur zur Produktarchitektur lässt sich in der Abbildung dargestellten Metus-Route, Abkürzung für Management Engineering Tool for Unified Systems, übersichtlich visualisieren. Anhand der Metus-Methode kann die Überlagerung von technischer und organisatorischer Struktur transparent dargestellt werden, um beide Strukturen anschließend einer gemeinsamen, genau aufeinander abgestimmten Gestaltung zugänglich zu machen.



**Abbildung 12: Metus-Raute<sup>73</sup>**

Die Ausprägung der Produktarchitektur kann den späteren wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg eines Produktes beeinflussen. Die Gestaltung der Produktarchitektur besitzt einen hohen Stellenwert, weil hiermit die Produktfunktionen und zentrale Produkteigenschaften, die Modulstruktur sowie die künftige Varianz des Produktes festgelegt werden. Diese Entscheidungen haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Kosten und die Effizienz der Abwicklung aller nachfolgenden Stufen der Wertschöpfungskette. Die richtige Produktarchitektur ermöglicht die Wiederverwendung von Komponenten, reduziert die Variantenvielfalt, senkt Montagekosten und führt zu

<sup>73</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S.257

effizienten Lieferantenstrukturen. Sie erhöht damit die Profitabilität, bringt Wettbewerbsvorteile und reduziert die immer bedeutsamere „Time-to-Market“ Zeitspanne.<sup>74</sup>

Um den vielfältigen Kundenanforderungen und Marktbedürfnissen gerecht zu werden, erstreckt sich die Perspektive auf alle Varianten des Produktes oder sogar auf das gesamte Produktangebot des Unternehmens. Die zentrale Herausforderung besteht darin, dem Kunden ein stark individualisiertes Produkt schnell und zu günstigen Preisen anbieten zu können. Kunden möchten Ihr Produkt auswählen können, das den individuellen Wünschen und Anforderungen perfekt entspricht. Im Idealfall kann der Kunde sein Produkt in gewissen Grenzen sogar selbst gestalten und konfigurieren, wie dies zum Beispiel beim Auto- oder Computerkauf der Fall ist. Die Forderung nach individuellen Produkten allein ist für ein Unternehmen prinzipiell kein Problem. Nötigenfalls wird das Produkt nach Kundenwunsch in Einzelfertigung hergestellt. Allerdings ist der Kunde in den meisten Fällen nicht gewillt, die mit der Produktvielfalt und Individualisierung verbundenen zusätzlichen Kosten zu tragen. Anders ausgedrückt erwartet sich der Kunde von heute individualisierte Produkte zum Preis von Standardprodukten.<sup>75</sup>

Damit gestaltet sich die Produktarchitektur zu einem zentralen Erfolgsfaktor eines Unternehmens. Dabei ist eine Vielzahl von Einflüssen zu berücksichtigen, die weit über die rein technische Perspektive hinausgeht. Vielmehr sind die zum Teil widersprüchlichen Anforderungen der unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen von der Entwicklung bis zum Vertrieb und After-Sales zu einem Gesamtoptimum zusammenzuführen.<sup>76</sup>

### **3.7 Module und Modularität**

Eine Produktarchitektur wird als modular bezeichnet, wenn ihre Komponenten funktional und physisch relativ unabhängig voneinander sind. Somit stellt ein Modul eine funktionale und physische relativ unabhängige Einheit dar.<sup>77</sup>

Die funktionale Unabhängigkeit ist dann gegeben, wenn eine Komponente eine bestimmte Funktion oder mehrere Funktionen unabhängig von anderen Komponenten

---

<sup>74</sup> Vgl.: Ebenda, S. 252

<sup>75</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 253

<sup>76</sup> Vgl.: Ebenda, S. 254

<sup>77</sup> Vgl.: Göpfert (1998), S.111

erfüllt, die physische Unabhängigkeit liegt vor, wenn die Komponente sich durch eine entsprechende Schnittstellengestaltung von anderen Komponenten physisch trennen lässt. Je höher die Unabhängigkeit einer Komponente hinsichtlich dieser Dimensionen ausgeprägt ist, desto größer ist das Maß der Modularität.<sup>78</sup>

Eine vollständige funktionale und physische Unabhängigkeit wird nur selten erreicht, daher gibt es mehr oder weniger modulare Einheiten innerhalb einer Produktarchitektur. Somit muss ein Modul auch nicht zwangsläufig eine Funktion komplett erfüllen oder eine vollständige maschinenbaulich sinnvolle Einheit darstellen, es sinkt lediglich der Grad an Modularität.<sup>79</sup>

Das größte Risiko der Modularisierung besteht dann, wenn sich im Nutzungsfall zeigt, dass nicht reife oder nicht funktionsfähige Technologien in Modulen verwendet wurden. Bei einem hohen Wiederverwendungsgrad von Modulen hat dies Auswirkungen auf eine Vielzahl von Produkten. Das technische Risiko von Lösungen in vielfach verwendeten Produkten ist demgemäß sehr sorgfältig zu bewerten. Tabelle 1 fasst die genannten Effekte der Modularisierung zusammen.<sup>80</sup>

---

<sup>78</sup> Vgl.: Franke, v. Braun (1998) S. 142

<sup>79</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 258

<sup>80</sup> Vgl.: Ebenda S. 261

<b>Effekte der Modularisierung</b>	<b>Vorteile in der Entwicklung</b>	<b>Vorteile in der Produktion</b>	<b>Vorteile in der Nutzung</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Entkopplung</b>	Wenige, klar definierte Schnittstellen Parallelisierung der Entwicklung	Geringer Montageaufwand durch weniger Baugruppen und Schnittstellen	Montage und Demontage durch den Nutzer möglich	Aufwändige Konstruktion, Spezifikation und Realisierung der Schnittstellen
<b>Wiederverwendung</b>	Geringer Entwicklungsaufwand durch Verwendung bereits entwickelter Module	Kostensenkung und geringere Fehlerrate durch Skalen- und Lernkurveneffekte	Weiterverwendung einzelner Module in anderen Produkten	Geringe Produktdifferenzierung Risiko von Fehlern
<b>Austauschbarkeit</b>	Einfache Veränderung der Produktarchitektur durch Austausch einzelner Module	Vereinfachter Austausch von fehlerhaften Modulen in der Produktion	Vereinfachte Reparatur des Produktes durch Austausch defekter Module	Beschränkung der Reparaturmöglichkeiten auf Modulaustausch
<b>Erweiterbarkeit</b>	Erweiterung der Produktfunktionalität durch Hinzufügen von Modulen	Produkterweiterung erfordert keine produktionstechnische Veränderung	Nachträgliche Produkterweiterung möglich	Fehlende Produktintegrität
<b>Standardisierbarkeit</b>	Verwendung existierender Lösungen durch Vereinheitlichung von Modulen und Schnittstellen	Reduzierung der Komponentenvielfalt und Verwendung marktvorbereiteter Komponenten	Bessere Verfügbarkeit und günstigere Preise durch konkurrierende Anbieter	Geringe Differenzierung Substituierbarkeit von Modulen suboptimale Produktleistung
<b>Prüfbarkeit</b>	Vereinfachter Funktionstest im Entwicklungsprozess	Fehlerreduzierung durch Prüfung der Module vor dem Einbau	Vereinfachte Identifikation defekter Module	Einzelprüfung von Modulen garantiert nicht Funktionen des Gesamtprodukts
<b>Kombinierbarkeit</b>	Kombination von Modulen im Baukastenprinzip	Einfacher Herstellung von Produktvarianten und Produktfamilien	Individuelle Zusammenstellung und Gestaltung des Produktes	Erstellung und Pflege von Baukästen ist aufwändig

Tabelle 1: Effekte der Modularisierung<sup>81</sup>

<sup>81</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 262



Anhand der Dimensionen lassen sich auf einer zusammengefassten Ebene verschiedenen Typen von Produktarchitekturen klassifizieren, siehe Abbildung 13.

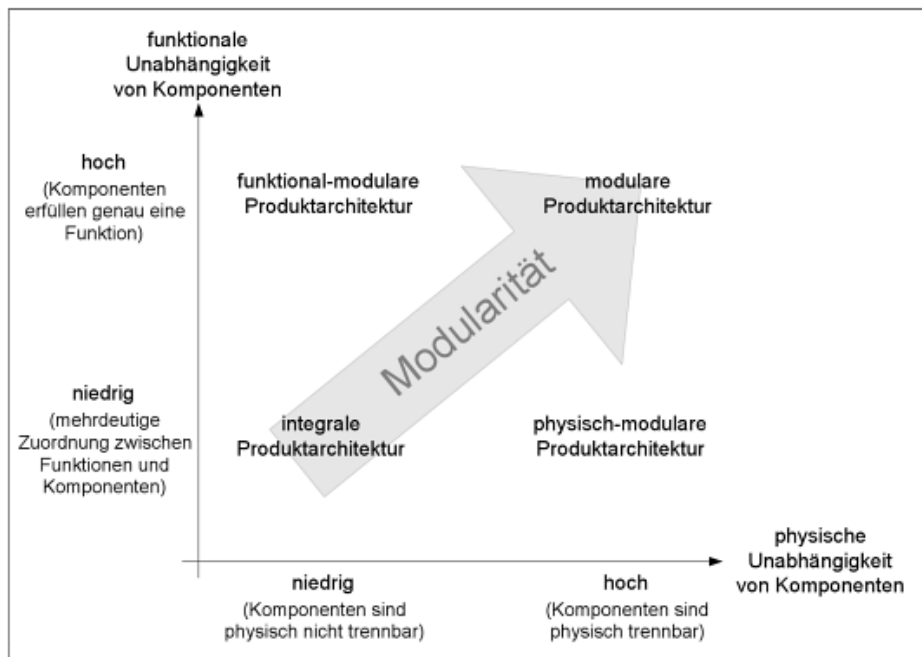


Abbildung 13: Einteilung der Produktarchitekturen anhand der funktionalen und physischen Unabhängigkeit ihrer Komponenten<sup>82</sup>

### 3.8 Modulare Produktarchitektur

Diese Produktarchitektur besteht aus funktional und physisch relativ unabhängigen Komponenten, die ein abgeschlossenes Modul darstellen. Über genau festgelegte und standardisierte Schnittstellen ermöglicht die Architektur eine Entkoppelung einzelner Komponenten.<sup>83</sup>

Beispiel einer modularen Produktarchitektur ist eine Spiegelreflexkamera, bei der Kameragehäuse, Objektiv und Blitzlicht jeweils funktional und physisch relativ unabhängige Einheiten darstellen. Zum einen erfüllt jedes der Module bestimmte Funktionen des Produkts unabhängig von anderen Modulen und deren Komponenten, zum anderen sind diese Module physisch einfach voneinander trennbar, siehe Abbildung 14.<sup>84</sup>

<sup>82</sup> Vgl.: Göpfert (1998), S. 115

<sup>83</sup> Vgl.: Ruppert (2007), S. 21

<sup>84</sup> Vgl.: Franke, v. Braun (1998), S. 142

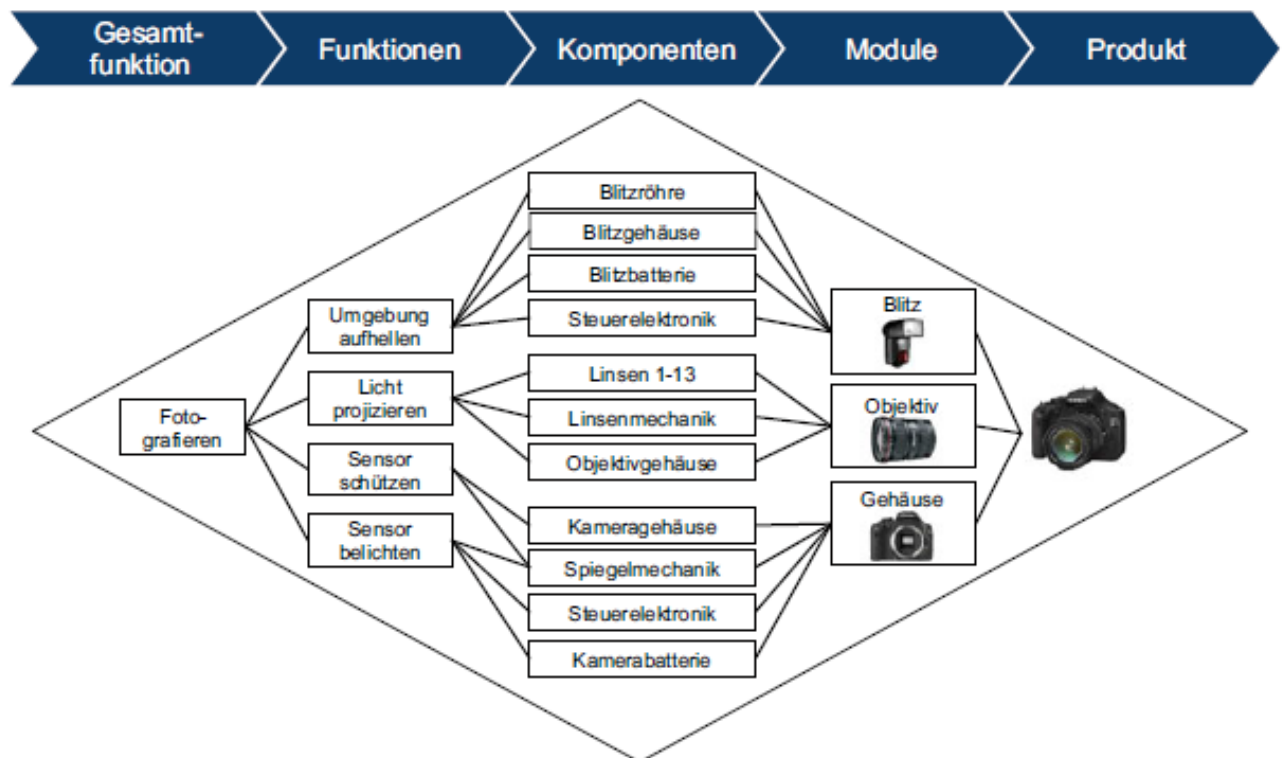


Abbildung 14: Modulare Produktarchitektur anhand einer Spiegelreflexkamera<sup>85</sup>

Modulare Produktarchitekturen besitzen gegenüber anderen Produktarchitekturen eine Reihe von Vorteilen aber auch potenzielle Nachteile.

Die Vorteile einer modularen Architektur bestehen insbesondere darin, dass sich die Komplexität des Entwicklungsprozesses wirkungsvoll reduzieren lässt. Die Entkopplung der Module bewirkt, dass sich die Gesamtkomplexität des Produktes auf verschiedene Module des Produktes verteilt, die jeweils relativ unabhängig voneinander entwickelt werden können. Die Beziehungen der Module beschränken sich dabei auf wenige, eindeutige, definierbare, standardisierte Schnittstellen. Der Entwicklungsprozess kann darüber hinaus noch weiter vereinfacht werden, wenn sich bereits entwickelte Module wiederverwenden lassen. Modulare Architekturen lassen sich durch Austausch einzelner Module auf einfache Weise modifizieren beziehungsweise durch Hinzufügen neuer Module einfach erweitern. Neue Produkte entstehen dann lediglich durch die Kombination bestehender Module nach dem Baukastenprinzip.<sup>86</sup>

Die modulare Produktarchitektur birgt aber auch Nachteile. Dadurch, dass die Module jeweils eigenständig, möglichst wiederverwendbare Einheiten darstellen, fallen modulare Produkte oft größer und schwerer aus. Durch die Verwendung derselben

<sup>85</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 260

<sup>86</sup> Vgl.: Bach, Brehm, Buchholz, Petry (2012), S. 110

Module in verschiedenen Produkten ergeben sich zudem weniger Möglichkeiten zur Produktdifferenzierung, möglicherweise fehlt es gar an Produktintegrität, dem optimalen Zusammenspiel der Komponenten.<sup>87</sup>

Modulare Produktarchitekturen werden gewählt, wenn Forderungen nach einer breiten Produktpalette gestellt werden, die aber gleichzeitig einem sehr hohen Kostendruck unterliegt. Durch die Wiederverwendung von Teilen, Modulen und Komponenten wird versucht die Entwicklungszeit zu reduzieren sowie die Kosten in Entwicklung, Produktion und Service zu senken. Man kann bei modularen Architekturen die einzelnen Komponenten individuell zusammenstellen, austauschen und auch in anderen Produkten verwenden.<sup>88</sup>

### **3.9      Integrale Produktarchitektur**

Integrale Produktarchitekturen stellen das Gegenteil zur gerade beschriebenen modularen Ausprägung dar. In Abhängigkeit von der mit dem Produkt verfolgten Zielsetzung sind daher in manchen Fällen integrale Produktarchitekturen vorzuziehen. Deren Vorteile liegen insbesondere dort, wo modulare Architekturen Schwächen aufweisen und umgekehrt. Die integrale Produktarchitektur ist dadurch gekennzeichnet, dass ihre Komponenten eine hohe funktionale und physische Abhängigkeit aufweisen. Dies ergibt sich daraus, dass Komponenten zugleich mehrere (Teil-)Funktionen erfüllen oder einzelne Funktionen von mehreren Komponenten erfüllt werden.<sup>89</sup> Diese mehrdeutige Zuordnung zwischen physischen Komponenten und Teilfunktionen wird auch als functionssharing bezeichnet. Functionssharing basiert oft auf der Ausnutzung sekundärer Eigenschaften von Komponenten. Ein wesentlicher Vorteil einer solchen funktionalen Mehrfachnutzung von Komponenten liegt darin, dass dadurch in der Regel weniger Komponenten erforderlich sind und somit einer vereinfachten Fertigung und Endmontage des Produktes ermöglicht wird. Dazu können aufwändige Schnittstellen zwischen physisch separierten Komponenten vermieden werden, was die Montage weiter vereinfacht und die Zuverlässigkeit des Gerätes erhöhen kann. Insgesamt kann durch eine integrale Produktarchitektur oftmals ein kompakteres, leichteres Produkt angeboten werden, als bei einer entsprechenden,

---

<sup>87</sup> Vgl.: Franke, v. Braun (1998), S. 144

<sup>88</sup> Vgl.: Thudium (2005), S. 378

<sup>89</sup> Vgl.: Schuh (2012), S. 151

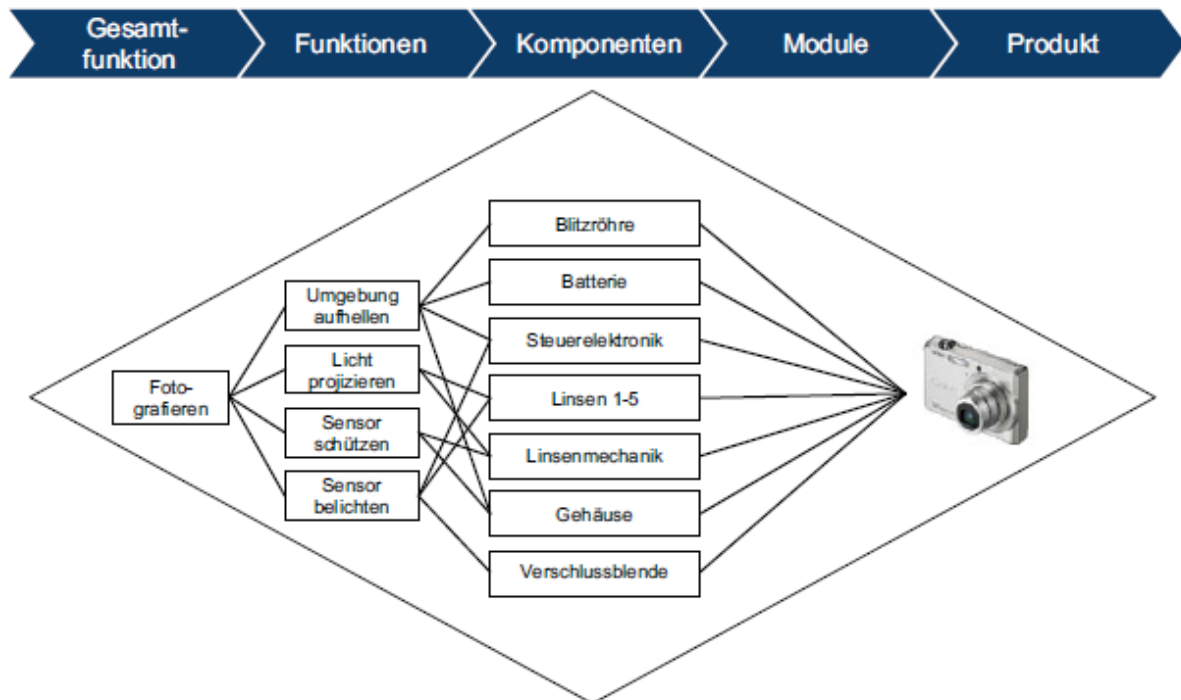
modularen Architektur.<sup>90</sup> Die funktionale Mehrfachnutzung von Komponenten wird jedoch durch eine stark gekoppelte, oftmals schwer zu durchschauende Produktarchitektur bestimmt, die den Austausch, die Kontrolle und die Wiederverwendbarkeit von Komponenten kaum ermöglicht und aufgrund ihrer Abgeschlossenheit schwer erweiterbar ist. Einzelne Komponenten müssen bei einem Defekt oftmals durch das komplette Gerät ersetzt werden. Eine Standardisierung einzelner Komponenten ist aufgrund ihrer produktspezifischen Verwendung, außer bei extrem hohen Stückzahlen, wenig sinnvoll. Ebenso wenig besteht die Möglichkeit, in einer integralen Produktarchitektur Komponenten individuell zu kombinieren und an spezielle Kundenbedürfnisse anzupassen. Integrale Produktarchitekturen sind daher insbesondere für Einzelproduktentwicklungen geeignet, bei denen die Leistungsmaximierung oder die Minimierung der Materialkosten im Vordergrund steht.<sup>91</sup>

Der klassischen Suchkamera liegt eine integrale Produktarchitektur zugrunde. Hier findet keine Modulbildung statt, da die Komponenten funktional stark voneinander abhängen und zudem im Produkt physisch untrennbar miteinander verbunden sind. So ist das Objektiv beispielsweise zugleich Teil des Kameragehäuses, siehe Abbildung 15.

---

<sup>90</sup> Vgl.: Göpfert (1998), S. 122

<sup>91</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 263



**Abbildung 15: Integrale Produktarchitektur anhand einer Sucherkamera<sup>92</sup>**

Integrale Architekturen werden dann bevorzugt, wenn die Nachfrager sehr hohe Ansprüche an Leistung, Qualität und Zuverlässigkeit der Produkte haben und diese als die zentralen Differenzierungsmerkmale am Markt herausgestellt werden. Eine optimale Abstimmung der einzelnen Komponenten und die reduzierte Anzahl von Schnittstellen ermöglicht eine hohe Leistung und sichert gleichzeitig die Qualität und Zuverlässigkeit der Produkte.<sup>93</sup>

### **3.10 Funktional-modulare und physisch-modulare Produktarchitektur**

In beiden Fällen handelt sich um eine Mischform von modularer und integraler Produktarchitektur. Bei der funktional-modularen Architektur liegt zwar eine hohe funktionale Abhängigkeit vor, dafür sind aber die physischen Elemente voneinander abhängig. Dies bedeutet, dass die jeweiligen Funktionen von einzelnen oder wenigen Komponenten realisiert werden kann, diese sind mittels Schnittstellen allerdings so verbunden, dass sie sich überhaupt nicht oder nur schwer während der Nutzungsphase voneinander trennen lassen. Der umgekehrte Fall der gerade genannten Form liegt bei der physisch-modularen Architektur vor. Sie weist eine hohe physische Un-

<sup>92</sup> Vgl.: Feldhusen, Grote (2013), S. 260

<sup>93</sup> Vgl.: Thudium (2005), S. 378

abhängigkeit auf, jedoch herrscht zwischen den Komponenten eine starke funktionale Abhängigkeit. Dies bedeutet, dass die einzelnen Komponenten eines Produktes sich an ihren Schnittstellen gut trennen lassen aber diese Komponente alleine kann keine Produktfunktion erfüllen, sondern nur im Zusammenwirken mit anderen Komponenten.<sup>94</sup>

Die Entscheidung für eine bestimmte Form der Produktarchitektur stellt also für jedes Unternehmen eine fundamentale Weichenstellung dar, die weitreichende Konsequenzen für das Produkt, seinen Entwicklungsprozess, die spätere Herstellung, Nutzung und schließlich auch Entsorgung hat.<sup>95</sup>

### **3.11 Modulbaukasten**

Bei diesem Prinzip wird ein Produkt in mehrere Subsysteme, so genannte Module unterteilt, die sowohl funktional als auch physisch weitgehend unabhängig sind. Diese einzelnen Module weisen unterschiedliche Funktionalitäten, aber einheitliche Schnittstellen auf, sodass sie in vielfältiger Weise kombiniert werden können. Die Modulbauweise stellt einen Ansatz dar, der sowohl zur Reduktion und Beherrschung als auch zur künftigen Vermeidung von Komplexität verwendet werden kann, da mit ihrer Hilfe ein für den Kunden wahrnehmbares breites Leistungsangebot mit einer geringen internen Komplexität erzielt werden kann. Durch die Produktmodularisierung ergeben sich folgende positive Effekte:

- Verkürzung der Durchlaufzeiten durch eine parallele Modulbearbeitung während des Produktentstehungsprozesses und der Fertigung
- Nutzung von Skaleneffekten durch die Mehrfachverwendung standardisierter Module in verschiedenen Produktvarianten und -typen, wodurch die Bedarfsmenge gesteigert und dadurch verbesserte Konditionen auf dem Beschaffungsmarkt erzielt werden können
- Effizientere Instandhaltung und erhöhte Produktverfügbarkeit durch den leichten und schnellen Austausch kompletter Module

Den genannten Vorteilen stehen jedoch oft höhere Produktentwicklungskosten gegenüber. Im Hinblick auf die Beschaffung kann durch den modularen Produktaufbau

---

<sup>94</sup> Vgl.: Schuh (2012), S. 151

<sup>95</sup> Vgl.: Franke, v. Braun (1998), S. 144

die Vormontage ganzer Module auf Zulieferer übertragen werden. Hieraus resultiert eine Reduktion der Anzahl an Schnittstellen, Lieferanten und zu beschaffender Artikel.<sup>96</sup>

### **3.12 Produktkonfigurator**

Unter einem Produktkonfigurator ist ein spezielles Softwaresystem, das ein Produkt nach individuellen Vorgaben und Anforderungen unter Berücksichtigung technischer, physikalischer und anderen Randbedingungen dient, zu verstehen. Im Allgemeinen sind Produktkonfiguratoren spezielle Expertensysteme, die mit dem Bereich der künstlichen Intelligenz verknüpft sind. Sie bieten dem Nutzer die Möglichkeit, ein Produkt nach seinen Produktvorstellungen, durch Bewertung und Selektion von angebotenen Produktkomponenten, in eine kundenspezifische Produktbeschreibung zu überführen.<sup>97</sup>

Produktkonfiguratoren können bei Kundenwünschen auch vor ausufernder Variantenvielfalt und damit verbundenen Kostenexplosionen schützen. Die Gefahr besteht dabei in einer täglich wachsenden Flut neuer Varianten, die durch Änderungskonstruktion bestehender Produkte und das Erfinden neuer Teile entsteht. Ein Sondermaschinenbauunternehmen verwaltet meist eine hohe Anzahl aktueller Komponenten mit zunehmender Variantenvielfalt. Durch kundenspezifische Sonderlösungen steigen die Komplexität der Produkte und damit auch der Aufwand für Auftragsabwicklung und Produktion. Die kundenindividuelle Ausrichtung der Produkte führt zu erheblichen Mehrkosten durch Projektierungsaufwand bereits bei der Angebotserstellung. Aufwendige Anpassungskonstruktionen, auftragsspezifische Stücklisten und Arbeitspläne sowie Sonderfertigung tragen zur Kostenexplosion bei.

Um in einer globalisierten Welt Kundenwünsche möglichst gut, schnell und zu einem wettbewerbsfähigen Preis anbieten zu können, ist eine Modularisierung der Produkte notwendig, wodurch eine intelligente Kombination aus standardisierten Modulen mit definierten Schnittstellen möglich wird. Der Produktkonfigurator vereinfacht den Vertrieb komplexer, variantenreicher Produkte im Internet, auf dem Notebook des Verkäufers oder auf dem Rechner im Innendienst. Der Nutzer erhält alle Informationen

---

<sup>96</sup> Vgl.: Gießmann (2010), S.57

<sup>97</sup> Vgl.: Emrich (2008), S. 407

über Produkte, Preis, Lieferzeit, technische Abhängigkeiten und Zubehör auf Knopfdruck.

Grundlage eines Produktkonfigurators ist eine angepasste Produktstrukturierung. Hierbei muss durch geeignete Modularisierung und Standardisierung eine Struktur gefunden werden, deren Variantenvielfalt die Kundenwünsche möglichst vollständig abdeckt.<sup>98</sup> Innerhalb der Produktkonfiguratoren werden drei unterschiedliche methodische Ansätze unterschieden:

- Regelbasierte Konfiguration
- Wissensbasierte Konfiguration
- Interaktionsbasierte Konfiguration

Unterschieden wird anhand der Frage, wo das gesamtheitliche Konfigurationswissen vorliegt. Bei modular aufgebauten Produkten mit klar definierten Schnittstellen ist es häufig möglich, das Wissen vollständig im Produkt abzubilden. In anderen Fällen ist Teilwissen des Verkaufs und Konstruktion notwendig. Handelt es sich dagegen um Produkte mit einem sehr hohen kundenspezifischen Anteil, ist die Interaktion des Kunden in den Konfigurationsprozess unumgänglich.<sup>99</sup>

Regelbasierende Systeme basieren auf Regeln, die darstellbar sind. Die Konfiguration erfolgt mehrheitlich durch den Kunden selbst. Das Konfigurationssystem steuert das Navigieren durch den Benutzerdialog, sodass nur von früheren Entscheidungen abhängig relevante Eingaben getätigt werden können. Bei den definierten Regeln und Beziehungen kann es sich um komplexe Abhängigkeiten, Ausschließungen, Validationen und Kalkulationen handeln. Solche Systeme sind vom Kunden auch ohne die Hilfe des Vertriebs zu bedienen.<sup>100</sup>

Im Gegensatz dazu, bauen wissensbasierte System auf dem Wissen des Verkaufs und des Engineerings auf. Diese kommen zum Einsatz, wenn die Konfigurationsvielfalt extrem groß ist beziehungsweise es sich um äußerst komplexe Anlagen handelt, dass eine Abbildung im System weder sinnvoll noch mit vernünftigen Aufwand

---

<sup>98</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 249

<sup>99</sup> Vgl.: Ebenda, S. 249

<sup>100</sup> Vgl.: Ebenda, S. 249



machbar ist. In solchen Fällen ist in einem ersten Schritt die Abklärung der Kundenanforderungen sehr wichtig.<sup>101</sup>

Dazwischen liegen interaktionsbasierte Systeme, bei welchen die Konfiguration durch den Kunden und/oder Verkäufer vorgenommen wird. Diese Art der Konfiguratoren ist insbesondere dann sinnvoll, wenn es sich um komplexe Produkte handelt, aber die Variantenvielfalt sich in relativ engen Grenzen bewegt. Solche Systeme bieten durch den direkten Einbezug des Kunden die Möglichkeit, im Verkaufsgespräch das zu erstellende Produkt noch besser den Bedürfnissen des Kunden anzupassen.<sup>102</sup>

Neben den Produktkonfigurationsarten gibt es eine ganze Reihe an Anforderungen die ein Konfigurator erfüllen muss:

- **Produktübersicht:** Ein Konfigurator dient als Schnittstelle zwischen Nutzer und Anbieter, daher ist es wichtig, dass die Produkte der Anbieter übersichtlich dargestellt werden. Insbesondere gilt das für komplexe und nicht leicht überschaubare Produkte.
- **Datenpflege:** Eine stetige Datenpflege sichert die Aktualität des Konfigurators. Durch neue Produktvarianten kann die Menge der zu pflegenden Daten sehr schnell wachsen. Es kommt nicht selten vor, dass Konfigurationssysteme aufgrund zu aufwändiger Datenpflege aufgegeben werden müssen.
- **Benutzerfreundlichkeit:** Jedes Konfigurationssystem wird durch die Benutzerfreundlichkeit gekennzeichnet. Deshalb sollten alle Systeme möglichst einfach zu erlernen und bedienbar sein.
- **Personalisierung:** Durch die Sammlung und Auswertung relevanter Kundeninformationen sollte es möglich sein den Nutzer nur die Produktinformationen und Angebote anzubieten, die nur seinen Erwartungen entsprechen.
- **Visualisierung:** Produktkonfiguratoren erzeugen ein virtuelles Produkt, das genau den Nutzeranforderungen entspricht. Auf diese Weise kompensieren

---

<sup>101</sup> Vgl.: Schuh (2005), S. 249

<sup>102</sup> Vgl.: Ebenda, S. 249

sie den Nachteil eines real nicht vorhandenen Produkts. Die Visualisierung kann mittels 3D-Modellen erfolgen.<sup>103</sup>

Produktkonfiguratoren sind spezielle Expertensysteme, die mit anderen Ansätzen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz verknüpft sind. Sie können helfen die ausufernde Variantenvielfalt und die damit verbundene Kostenexplosion im Zaum zu halten indem sie intelligente Kombinationen standardisierter Module und definierter Schnittstellen erlauben.<sup>104</sup>

---

<sup>103</sup> Vgl.: Informatik UNI-Stuttgart: [http://www1.informatik.uni-stuttgart.de/fileadmin/user\\_upload/studierende/informatik/bachelor/projekt-inf/2014\\_1/gruppe4.pdf](http://www1.informatik.uni-stuttgart.de/fileadmin/user_upload/studierende/informatik/bachelor/projekt-inf/2014_1/gruppe4.pdf) , S. 5 (Auszug vom 31.10.2015)

<sup>104</sup> Vgl.: Emrich (2008), S. 409

## **4 Komplexitätsreduktion im Sondermaschinenbau**

### **4.1 Konstruktionsabläufe im Sondermaschinenbau**

Typischerweise sind Produktionsgüter im Rahmen dieser Arbeit hochgradig komplexe und teure Produkte, die modular aufgebaut sind und in zahlreichen Varianten angeboten werden. Sie werden in der Regel abhängig von den Kundenanforderungen und Einsatzbedingungen maßgeschneidert gefertigt und montiert. Hierdurch entsteht bei den Anbietern ein erheblicher Abstimmungsbedarf zwischen kundennahen Vertrieb und produktnahen Unternehmensbereichen.

Am Beginn jedes Auftrages steht der Kunde, der seine Anforderungen an das Produkt definiert. Durch den Vertrieb kommt es zur technischen Bedarfsklärung um die internen Anforderungen mit dem Kunden abzuklären. Durch die vorhandenen Informationen werden mehrere Lösungsvorschläge eruiert und in Verkaufslayouts umgesetzt. Mit Hilfe eines Modulbaukastens, mit abgeschlossenen Objekten, können diese Verkaufslayouts, durch einfache Handhabung erzeugt werden. Anhand der verbauten Module im Verkaufslayout und einer Preis-Kosten-Tabelle ist es möglich, eine Angebotsmappe zu erstellen und diese dem Kunden vorzuweisen. Ist der Kunde mit den vorgeschlagenen Lösungsvarianten nicht einverstanden, kommt es zu Nachbesserungen durch den Vertrieb, bis der Kunde mit den vorgelegten Daten zufrieden ist und die Anlage bestellt.

Ab diesem Zeitpunkt wird das Projekt in die Projektabwicklung übergeben. Diese fasst die vorhandenen Informationen vom Vertrieb zusammen und nimmt Kontakt zum Kunden auf, um weitere technische Details und Anforderungen zu klären. Damit keine Informationen verloren gehen, werden diese in einem firmenspezifischen internen Auftragsdokument festgehalten. Dieses Auftragsdokument wird anschließend in die Konstruktion weitergegeben, diese versucht sich anhand der beinhalteten Informationen ein Bild über den Auftrag zu machen. Ziel des Konstrukteurs ist es, den Auftrag mit den gewünschten Kundenanforderungen, aus dem Lastenheft, abzuschließen. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es verschiedene Konstruktionsarten, vollständige Neukonstruktion, Konstruktion verwendet bestehende Anlageteile und Konstruktion auf Basis von vorentwickelten Modulen. In den nächsten Kapiteln wird auf die verschiedenen Konstruktionsarten genauer eingegangen.

### 4.1.1 Vollständige Neukonstruktion

In der extremsten Form des Sondermaschinenbaus wird jede Anlage komplett neu konstruiert. Die Produktentwicklung findet in diesem Fall im Rahmen des Kundenauftrages statt. Diese einzige Anlage wird auch als Prototyp gesehen.

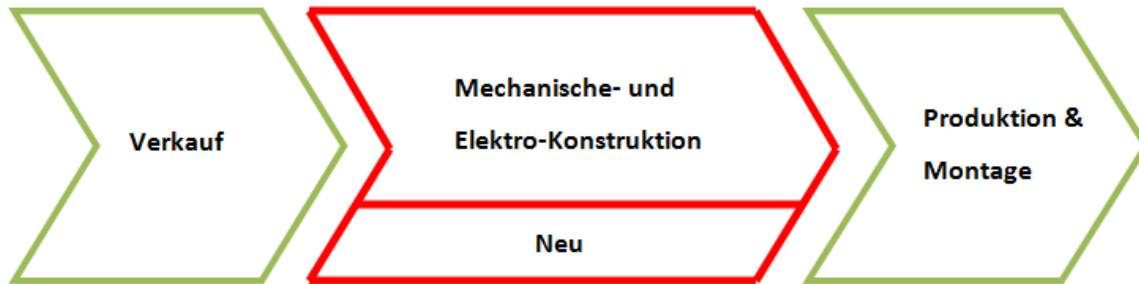


Abbildung 16: Vollständige Neukonstruktion

Ein großer Vorteil von diesem einfachen Konstruktionsprozess ist, dass die Neukonstruktion genau auf die Anforderungen vom Kunden angepasst werden kann. Weitere Vorteile sind, es können keine alten Fehler übernommen werden und die konstruierte Anlage sollte sich technisch immer auf den neuesten Stand befinden. Nachteile sind, dass der Konstruktionsaufwand auch bei ähnlichen Aufgabenstellungen sehr groß ist, Erfahrungen können schlecht genutzt werden – es entstehen immer neue Teile. Daher ist es schwierig, Einkaufsstrategien zu erstellen, es kommt zu geringen Losgrößen und enormer Teilevielfalt. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass es sich bei den produzierten Anlagen um nicht getestete Prototypen handelt.

Bei diesem Prozess werden alle vier Phasen (Spezifikationsphase, Konzeptphase, Gestaltungsphase, Ausarbeitungsphase) in der Konstruktion bei der Ausarbeitung des Kundenprojektes durchlaufen. Abbildung 17 zeigt den Konstruktionsaufwand bei der vollständigen Neukonstruktion.

Konstruktionsarten	Spezifikationsphase	Konzeptphase	Gestaltungsphase	Ausarbeitungsphase
Neukonstruktion				

Abbildung 17: Konstruktionsphasen bei vollständigen Neukonstruktionen

#### 4.1.2 Konstruktion verwendet bestehende Anlagenteile

Die vollständige Neukonstruktion ist bei Investitionsgütern selten. In den meisten Fällen sind die Konstruktionsbüros oder Maschinenhersteller auf eine Marktnische spezialisiert. Es kann auf vorangegangene Konstruktionen zurückgegriffen werden. In diesem Fall ist das Produkt eine Mischung aus kopierten Anteilen bestehender Konstruktionen und neu konstruierten Maschinenteilen.

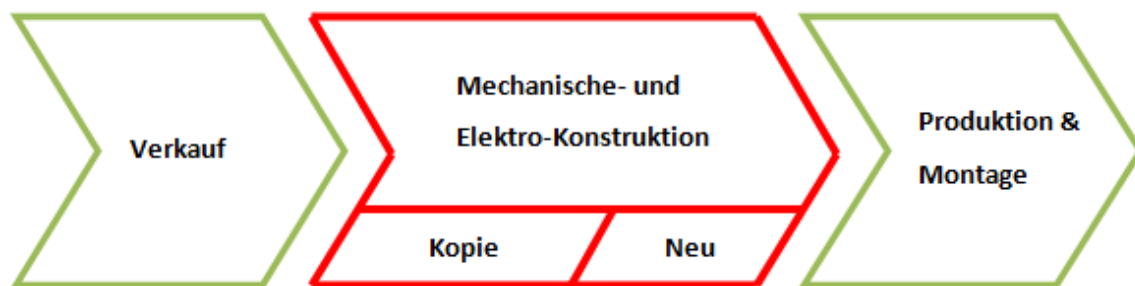


Abbildung 18: Konstruktion verwendet bestehende Maschinenteile

Ein wichtiger Vorteil dieses Prozesses ist, dass es zur Wiedernutzung von auftrags-spezifischen Konstruktionen kommt. Dadurch ist die Planung einer Einkaufsstrategie möglich, die Verwendung von Wiederholteilen erhöht sich und die Teilevielfalt sinkt. Dieser Prozess hat auch zeitliche Vorteile gegenüber der vollständigen Neukonstruktion – durch den Kopiervorgang von bestehenden Anlagenteilen ist man schneller. Nachteilig ist, wenn eine Einarbeitung von Verbesserungen und Erfahrungen nicht in die bestehenden Anlagenteile erfolgt ist. So kann es vorkommen, dass veraltete Maschinenteile kopiert werden und daher derselbe Fehler auftreten kann wie in der Original-Anlage.

In diesem Prozess werden auch die vier Konstruktionsphasen durchlaufen, aber diese können in der Auftragskonstruktion geringer ausfallen. Durch die Verwendung bestehender Anlagenteile wurden diese Phasen bereits bei den Vorgängeranlagen durchlaufen. Abbildung 19 zeigt den Konstruktionsaufwand bei der Verwendung von bestehenden Anlagenteilen. Die braun hinterlegten Felder wurden bei der Vorgängeranlage durchlaufen und die gelb hinterlegten Felder werden von der Auftragskonstruktion bei der Neubestellten Anlage durchgeführt.





Konstruktionsarten	Spezifikationsphase	Konzeptphase	Gestaltungsphase	Ausarbeitungsphase
Verwendung bestehender Anlagenteile				

Abbildung 19: Konstruktionsphasen bei Verwendung bestehender Anlagenteile

### 4.1.3 Konstruktion auf Basis von vorentwickelten Modulen

In einem weiteren Schritt gibt es eine Produktentwicklung, die wiederkehrende Module, Baugruppen oder Produktfamilien losgelöst von den Kundenaufträgen entwickelt und konstruiert. Daher sollten der Neuanteil und der Kopiervorgang von bestehenden Anlagen geringer ausfallen.

Durch die Produktenwicklung werden vor einer Auftragserteilung neue Baugruppen und Vorlagen auftragsneutral entwickelt, diese Produkte können zur Visualisierung in auftragsneutralen Marketingmedien zum Beispiel Internet, Broschüren und Produktblätter genützt werden.

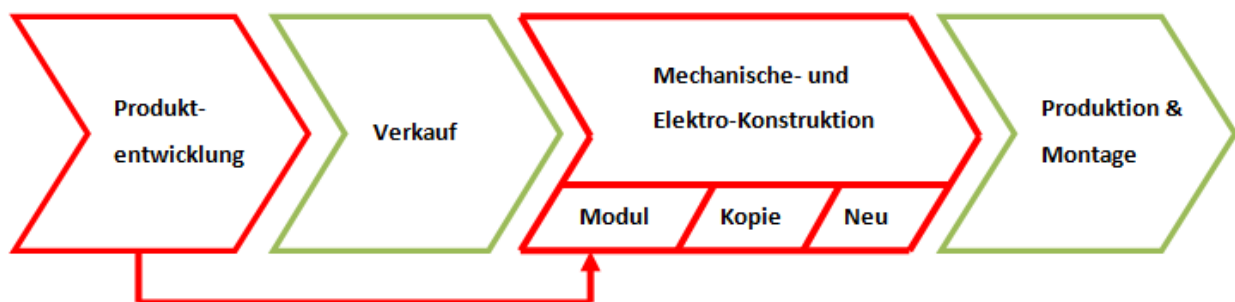


Abbildung 20: Konstruktion mit vorentwickelten Modulen

Vorteile dieses Prozesses sind, dass sich die vorentwickelten und konstruierten Module von der Produktentwicklung immer technisch am aktuellsten Stand sind. Nachteilig ist, dass der Kopier- und Anpassungsvorgang längere Zeit in Anspruch nehmen kann und sehr umständlich ist. Außerdem können mit den Modulen nicht alle Varianten abgedeckt werden, zum Beispiel wenn die Kundenvorschriften nicht eingearbeitet sind.

Auch bei diesem Prozess werden alle vier Phasen durchlaufen. In diesem Fall wird aber durch die vorgelagerte Produktentwicklung Vorarbeit geleistet um die Auftragskonstruktion zu entlasten. Abbildung 21 zeigt den Konstruktionsaufwand auf Basis vorentwickelter Module. Die rot hinterlegten Felder werden von der Produktentwicklung einmalig durchlaufen und die gelb hinterlegten Felder werden von der Auftragskonstruktion pro Anlage, Neukonstruktion und/oder durch Verwendung von bestehenden Anlageteilen, durchgeführt.





Konstruktionsarten	Spezifikationsphase	Konzeptphase	Gestaltungsphase	Ausarbeitungsphase
Konstruktion mit vorentwickelten Modulen				

Abbildung 21: Konstruktionsphasen mit der Basis von vorentwickelten Modulen

## 4.2 Ansatz Konfiguration

Durch die steigende Produktkomplexität und Variantenvielfalt werden die Unternehmen vor die Herausforderung gestellt, nicht nur fehlerfreie Angebote, kurze Reaktionszeiten und eine Vielzahl von Produkten anzubieten, sondern auch die Nutzerzufriedenheit und die Qualität zu erhöhen. Bei der Erstellung komplexer und variantenreicher Angebote sind viele Einflussfaktoren aus der Konstruktion, Produktion und Materialwirtschaft zu berücksichtigen. Die Erzeugung variantenreicher Produkte stellt hohe Anforderungen an betriebliche Prozesse im Zusammenhang mit dem Vertrieb, Projektplanung und Konstruktion. Konfigurationssysteme können zur Unterstützung dieser Prozesse einen wesentlichen Beitrag leisten. Moderne 3D-CAD-Systeme bieten in Verbindung mit Konfiguratoren umfangreiche Möglichkeiten, konstruktive Tätigkeiten zu automatisieren und die Komplexität für den Auftragskonstrukteur zu minimieren. Der Konfigurator sollte den Zeitbedarf in der Konstruktion senken um die Kosten der konstruierten Anlage zu reduzieren und die entstandenen Fehler von Copy & Paste vermeiden, somit sollte die Kundenzufriedenheit ansteigen. Das Konfigurationssystem sollte den Auftragskonstrukteur beim Output (Stücklisten und Zeichnungen), der in den nachgelagerten Prozessen benötigt wird, unterstützen.

Aufgrund der stetig wachsenden Konkurrenz werden Unternehmen gezwungen, ihre eigenen Produkte ständig anzupassen und zu individualisieren. Eine Möglichkeit

besteht in der Bereitstellung von optional wählbaren Komponenten für das Produkt. Der Nutzerwunsch kann somit individuell an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Aufgrund der Individualisierung jeder einzelnen Transaktion ist die Beherrschung der Komplexität im System- und Anlagengeschäft erfahrungsgemäß am schwierigsten. Daher verwundert es nicht, dass bereits viele Produktkonfiguratoren bei Standardprodukten zu finden sind.

Standardprodukte, wie Autos, Waschmaschinen oder Standardwerkzeugmaschinen, können ohne CAD-Modelle konfiguriert werden. Für Standardprodukte müssen nur Stücklisten generiert werden, um das Produkt zu erzeugen. Im Vergleich zum Sondermaschinenbau müssen CAD-Modelle mit dem Konfigurator generiert werden, da immer ein Restanteil aus neuen Modulen und/oder kopierten Modulen vorhanden ist.

Die Entscheidung, maßgeschneiderte Produkte herzustellen und zu vertreiben, betrifft viele Unternehmensbereiche, welche auf diese neue Art der Produktion erst umgestellt werden müssen. Dies beginnt bei der Konstruktion, wo die konfigurierbaren Anteile des Produkts festgelegt werden müssen – reicht über Produktion und Logistik bis hin zu Vertrieb und Inbetriebnahme der technischen Anlage.

Durch die Steigerung der Komplexität im Sondermaschinenbau wird der Sonderanteil immer mehr und die Kosten sowie Durchlaufzeiten eines Projektes steigen. Dies bindet sodann die erfahrensten Mitarbeiter, um die gewünschten Kundenanforderungen erfüllen zu können. Zugleich wünscht sich der Kunde das Projekt meist mit einem engen Zeithorizont und zu standardisierten Preisen.

Der Konfigurator soll bei allen Produkten zur Anwendung kommen, die aus vielen Modulen mit unterschiedlichen Optionen bestehen. Ziel soll es sein, aus dem verfügbaren Modulbaukasten eine bautechnisch mögliche Variante abzuleiten und diese, wenn nötig, automatisch um neue Komponenten und/oder Anordnungen zu ergänzen. Da es sich bei Konfiguratoren um ferngesteuerte, regelbasierte Systeme handelt, muss gewährleistet sein, dass die Komplexität von den Projektkonstrukteuren übernommen wird.

Auch der standardisierte Modulbaukasten soll sich durch die Implementierung eines Konfigurator-system durchsetzen. Dieses Ziel soll mit Hilfe des Konfigurators erreicht werden, da dieser auf Module des Modulbaukastens zugreifen soll. Durch die Verwendung der standardisierten Module soll es möglich sein, die Durchlaufzeit in allen



Prozessen zu verkürzen, den Lagerbestand zu verringern und somit die Kosten zu senken. Kürzere Lieferzeiten und reduzierte Preise sollen durch den Kunden zu einem positiven Image führen und die Marktattraktivität steigern.

Die Anwendung eines standardisierten Modulbaukastens in Verbindung mit einem einheitlichen Konfigurationssystem ist Voraussetzung für die Wandlung von einem handwerklichen Betrieb zu einer industriellen Fertigung. Sie hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Optimierung aller Prozesse.

Wurde das Konfigurationssystem erfolgreich in der mechanischen Konstruktion etabliert, ist der nächste Schritt, den Vertrieb mit einzubinden. Es ist daher von elementarer Bedeutung, dass Unternehmen komplexe Produkte sowohl in der Herstellung als auch im Vertrieb beherrschen. Der Konfigurator muss daher in der Lage sein, das Unternehmen beim Anlegen von verschiedenen Varianten an Produkten zu unterstützen, um erfolgreiche und korrekte Angebote zu erstellen.

Auf Grund zahlreicher Berührungspunkte zu anderen betrieblichen Prozessen soll das Konfigurationssystem im späteren Verlauf in die gesamtbetriebliche Datenverarbeitung eingebettet werden.

#### 4.2.1 Konstruktion mit Konfiguratoren

Bei diesem Schritt wird in der Produktentwicklung ein Konfigurationssystem eingebettet. Dadurch erweitern sich die Aufgaben der Produktentwicklung, die vorentwickelten und konstruierten Module müssen für den Konfigurator aufbereitet und in das System eingearbeitet werden. Durch diesen Mehraufwand sollten, bei neuen Projekten, der Neuanteil und der Kopiervorgang von bereits bestehenden Anlagen sehr gering ausfallen.

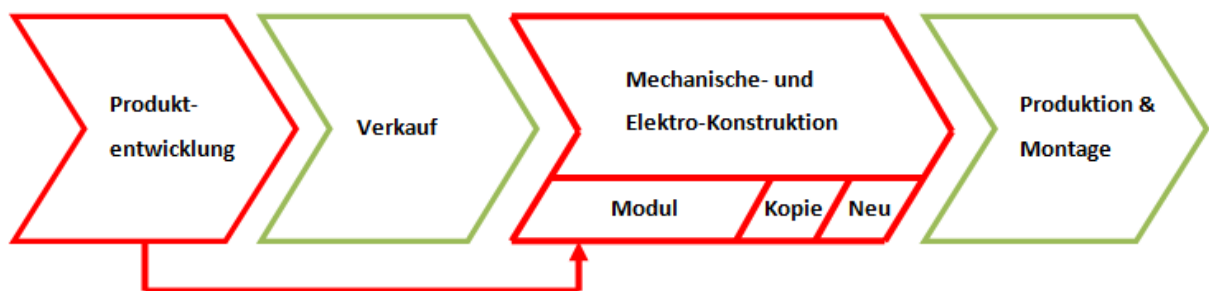


Abbildung 22: Konstruktion mit Konfigurator

Ein wichtiger Vorteil dieses Prozesses ist die Abdeckung von mehreren Varianten, da es möglich ist, die Kundenvorschriften in den Konfigurator zu integrieren. Weitere Vorteile sind, dass der Modulanteil durch die Verwendung eines Konfigurators stark erhöht wird, und somit der Zeitaufwand in der Konstruktion geringer ausfallen sollte. Ein großer Nachteil ist der vorgeleistete Aufwand in der Produktentwicklung, da diese die Module auf der Basis des Konfigurators entwickeln und konstruieren müssen.

Der Ablauf der Konstruktionsphasen ähnelt sehr stark dem Durchlaufen auf Basis von vorentwickelten Modulen. Durch die Einbindung eines Konfigurationssystems muss mehr Vorarbeit in der Produktentwicklung geleistet werden, um die Auftragskonstrukteure weiter zu entlasten. Durch die Erhöhung des Modulanteils in der Konstruktion sollte sich der Zeitaufwand pro Anlage verringern. Abbildung 23 zeigt den Konstruktionsaufwand mit Konfiguratoren, die rot hinterlegten Felder werden von der Produktentwicklung einmalig durchlaufen und die gelb hinterlegten Felder werden von der Auftragskonstruktion pro Anlage, Neukonstruktion und/oder durch Verwendung von bestehenden Anlageteilen, durchgeführt.









Konstruktionsarten	Spezifikationsphase	Konzeptphase	Gestaltungsphase	Ausarbeitungsphase
Konstruktion mit Konfiguratoren	 	 	 	 

Abbildung 23: Konstruktionsphasen mit Konfiguratoren

Durch Kopiervorgänge aus Vorlagen oder Vorgängeranlagen können Fehler entstehen. Es gilt, diese Fehlerquellen durch Konfigurationssysteme zu reduzieren und einen überzeugenden Standard durchzusetzen. Die Einführung des Standards soll zur Folge haben, dass sich die Durchlaufzeit nicht nur in der Konstruktion, sondern in allen Prozessen verringert. Zudem soll durch eine Standardisierung die Komplexität reduziert, und beherrschbar werden, um eine Transparenz der Module zu erhalten. Das Konfigurationssystem soll nicht nur die Fehlerquelle bei Kopiervorgängen minimieren, sondern es muss auch die hohe Anzahl an Varianten verwalten und für den Nutzer überschaubar darstellen.

## **4.3      Auswirkung auf die Konstruktionsprozesse**

Die Konstruktionsprozesse teilen sich zwei Bereiche auf, die im weiteren Verlauf der Arbeit näher erläutert werden.

### **4.3.1    Aufgaben in der Produktentwicklungs-Konstruktion**

Durch die Implementierung eines Konfigurationssystems in der Kundenauftrags-Konstruktion haben sich die Aufgaben der Produktentwicklungs- und Kundenauftrags-Konstruktion geändert. Die Produktentwicklung ist weiterhin für die Erarbeitung von neuen Modulen verantwortlich. Diese Module werden von Funktionsoptimierung, Kostenminimierung, Leichtbau, Genauigkeit, Lebensdauer, Sicherheit, Montier- und Demontierbarkeit, Instandhaltung und Recycling geprägt. Eine weitere Aufgabe der Produktentwicklung ist die Aufbereitung und Verwaltung der Module. Es gehört zu den Aufgaben der Entwicklung, die Module auf Konfigurator-Gerechtigkeit zu prüfen. Gegebenenfalls sind die CAD-Daten aufzubereiten, die CAD-Daten mit dem Konfigurator zu verknüpfen, die benötigten Regelwerke und Tabellen im Konfigurator zu erstellen, Zeichnungen und Stücklisten einzubinden und das Modul auf Funktionalitäten mit dem Konfigurator zu prüfen. Auch die Verwaltung von CAD-Daten und Konfigurationsdaten fällt in den Aufgabenbereich der Produktentwicklung.

Produkte im Sondermaschinenbau besitzen meist eine verzweigte Struktur und weisen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Bauteilen auf, die im Rahmen der Entwicklung und des Einsatzes eines Konfigurationssystems geeignet modelliert und gewartet werden müssen. Aus diesem Grund wird die Produktentwicklung erweitert. Diese trägt die Hauptverantwortung für das Konfigurationssystem. Die Aufgabe der Produktentwicklung ist, die neuentwickelten Modelle für das Konfigurationssystem aufzubereiten und bestehende Artikel zu warten.

Bei der Entwicklung des Konfigurators müssen mehrere Aspekte beachtet werden, damit das Konfigurationssystem für den Anwender, Auftragskonstruktion oder Kunden, interessant wird. Der wichtigste Punkt ist eine verständliche und einfache Handhabung des vollständigen Systems. Weitere wichtige Faktoren sind die Performance, das System muss schnell und fehlerfrei funktionieren, Änderungen müssen leicht von staten gehen und Sondermodule müssen integriert werden dürfen. Die Module müssen einfach zu aktualisieren sein und es sollte angezeigt werden welches Modul im

System konfiguriert wird. Eine funktionale Beschreibung vom Konfigurationssystem muss erstellt werden, damit die Handhabung für die Anwender übersichtlicher wird.

Anhand der Steigerung der Komplexität durch die expliziten Kundenwünsche kommt es vor, dass nicht nur die Konstrukteure an ihre Grenzen stoßen, sondern auch die derzeitigen modernen und leistungsfähigen Rechner durch die großen Datenmengen belastet werden. Dies spiegelt sich sehr stark in der Performance des CAD-Systems, bei großen Baugruppen, wieder. Dadurch ist es die Aufgabe der Produktentwicklung, die äußerst detaillierten Module zu vereinfachen, um ein arbeitsfähiges System zu erhalten.

Da es sich bei dem Erstnutzer um die interne mechanische Konstruktion handelt muss es zu einem hohen Maß an Kommunikation zwischen Konstruktion und Produktentwicklung kommen, um Fehlverhalten zu beseitigen und Verbesserungen im Konfigurator vorzunehmen.

#### **4.3.2 Aufgaben in der Kundenauftrags-Konstruktion**

Die Einführung eines Konfigurationssystems muss vor allem für die nachgelagerte mechanische Konstruktion, die Anlagen projektspezifisch konstruieren, Vorteile haben. Der Ablauf eines Konfiguratorprozesses soll mit Hilfe des Systems für den Nutzer mit der Auswahl eines standardisierten Moduls aus dem Modulbaukasten starten. Das ausgewählte Modul wird anschließend durch Wahl einer Menge von Optionen zu einem realisierbaren, nutzerspezifischen Produkt erweitert. Das System soll dabei dem Nutzer alle möglichen Werte für eine Option zur Verfügung stellen und anhand der Auswahl wird der Konfigurationsprozess gesteuert. Durch vordefinierte Regeln im Konfigurationssystem soll es möglich sein, dass sich Kombinationen von bestimmten Merkmalen gegenseitig ausschließen oder miteinander nicht agieren können. Durch die Auswahl des Konfigurators aus dem Modulbaukasten soll der Konstrukteur stets aktuelle Module erhalten. Da es nicht möglich ist, ohne gewissen Sonderanteil in der mechanischen Konstruktion auszukommen, muss das ungehinderte Weiterarbeiten auf den vorkonfigurierten Modulen möglich sein.

Die Auftragskonstruktion sind die ersten Anwender des konfigurierbaren Moduls. Die Kernaufgaben der Projektkonstrukteure beinhaltet die Aufgabenklärung und -präzisierung, eine Funktionsermittlung, für das vorhandene Problem eine Lösung zu

finden, eine Modulgliederung, eine Produktgestaltung und Ausführungs- und Nutzungsangaben auszuarbeiten.

## **4.4 Auswirkungen auf den Konstrukteur**

Entsprechend den sich verändernden Aufgaben in der Konstruktion verschieben sich auch die Anforderungen an den Konstrukteur.

### **4.4.1 Auswirkungen für den Produktentwicklungs-Konstrukteur**

Die alte Produktentwicklung stellte für die Auftragskonstruktion Modelle mit Zeichnungen und Stückliste bereit. Für die neue erweiterte Produktentwicklung gilt es, dass eingeführte Konfigurationssystem zu lernen und zu beherrschen – damit die entwickelten Module aufbereitet und mit Hilfe des Konfigurators programmiert werden können.

Um eine Vielzahl an Varianten anhand von Kundenvorschriften abzudecken, ist es notwendig, sich mit anderen Fachbereichen zu vernetzen. Vor allem die Einbindung von mechatronischen Abteilungen ist unerlässlich, da diese sehr stark von den Kundenvorschriften abhängen.

Die neue Aufgabe für die erweiterte Produktentwicklung ist das Aufbereiten der Module für das Konfigurationssystem, dies beinhaltet Zeichnungen und Stücklisten.

### **4.4.2 Auswirkungen für den Kundenauftrags-Konstrukteur**

Die alte Kundenauftrags-Konstruktion verwendete die vorentwickelten Module so weit als möglich, da immer ein Restanteil an neuen Konstruktionen vorhanden blieb. Daher besitzt die Auftragskonstruktion ein hohes Know-How, Verständnis für das Produkt um Anpassungen für den Kunden durchzuführen, Beherrschung des CAD-Systems und Wissen über das PLM-System (Product-Lifecycle-Management-System).

Die neue Kundenauftrags-Konstruktion verwendet auch die vorentwickelten Module, nur werden diese über den eingeführten Konfigurator angesteuert und angepasst. Daher erweitert sich das Know-How in der Auftragskonstruktion um die Beherrschung des Konfigurators zur Erstellung von kundenspezifischen Produkten.

## 5 Fazit

Die Produktstrukturierung im Sondermaschinenbau ist vielschichtig und komplex. Durch die vielseitigen Abhängigkeiten zwischen Produktstruktur und Unternehmen ist es außerordentlich schwierig, allgemeingültige Aussagen und Verhaltensregeln zu treffen. Vielmehr muss die Situation fallweise beurteilt werden.

Durch die Modularisierung eröffnen sich große Möglichkeiten, sowohl die technische als auch die organisatorische Komplexität ist somit in den Griff zu bekommen.

Es hat sich herauskristallisiert, dass viel Vorarbeit, Konstruktionsaufwand, geleistet werden muss um ein wirksames Konfigurationssystem zu erhalten. Dies ist nur zu erreichen, wenn der Modulbaukasten vollständig mit allen Kundenvorschriften abgebildet ist und man immer durch die Unterstützung des Konfigurators von der aktuellen Quelle dupliziert. Durch die Einbindung eines Konfigurationssystems in das Unternehmen sollten auch die nachgelagerten Prozesse anhand der einheitlichen Output-Daten, Zeichnungen und Stücklisten, vom Konfigurator profitieren.

Aus unternehmerischer und fachspezifischer Sicht ist ein Konfigurationssystem ein bedeutendes Softwaresystem der heutigen Zeit. Es dient der nutzerindividuellen Erstellung von Produktspezifikationen beziehungsweise Produktbestellungen. Das bedeutet, dass dem Nutzer die Möglichkeit geboten wird, Produkte zu konfigurieren, die seinen Anforderungen gerecht werden.

Ein eingebettetes Konfigurationssystem soll eine effiziente Unterstützung betrieblicher Prozesse ermöglichen. Die Verwendung eines solchen Systems soll die Prozessabläufe erleichtern, verbessern und beschleunigen. In Anbetracht der rasanten Fortschritte in der Produktentwicklung, -gestaltung sowie -vielfalt, bietet der Konfigurator eine zuverlässige Lösung.

Komplexität ist in der heutigen Zeit Fluch und Segen zugleich. Richtig eingesetzt und an der richtigen Stelle wird sie zu einer wettbewerbsentscheidenden Waffe. Wenn man sie ignoriert, kann Komplexität überwältigend werden, lässt Gewinnmargen dahinschmelzen und die Überlebenschancen von Unternehmen stark sinken.<sup>105</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl.: Gleich (2013), S. 30

## Literaturverzeichnis

Bach, Norbert / Brehm, Carsten / Buchholz, Wolfgang / Petry, Thorsten: Wertschöpfungsorientierte Organisation: Architekturen – Prozesse – Strukturen, 1., Auflage – Wiesbaden 2012

Budde, Oliver: Komplexitätscontrolling: Produktlebenszyklusmodell für die Telekommunikationswirtschaft, 1., Auflage – Aachen 2012

Brecher, Christian: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, 1., Auflage – Heidelberg 2011

Böge, Alfred: Komplexitätscontrolling: Vieweg Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18., überarbeitete und erweiterte Auflage – Wiesbaden 2007

Conrad, Klaus-Jörg: Grundlagen der Konstruktionslehre: Methoden und Beispiele für den Maschinenbau und die Gerontik, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage – München 2013

Eberhardt-Motzelt, Christian: Erfolgreiche Vertriebssteuerung in der Maschinenbaubranche: Instrumente zur Analyse, Planung, Steuerung und Optimierung von Vertriebsaktivitäten, 1., Auflage – Norderstedt 2014

Emrich, Christin: Multi-Channel-Communications- und Marketing-Management, 1., Auflage – Wiesbaden 2008

Eversheim, Walter: Kostenbewusstes Konstruieren: Organisation in der Produktionstechnik: Band 1: Grundlagen, 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage – Düsseldorf 1996

Feldhusen, Jörg / Grote, Karl-Heinrich: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung, 8., vollständig überarbeitete Auflage – Heidelberg 2013

Fischer, Jan Otakar: Kostenbewusstes Konstruieren: Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess, 1., Auflage – Berlin Heidelberg 2008

Franke, Nikolaus / von Braun, Christoph-Friedrich: Innovationsforschung und Technologiemanagement: Konzepte, Strategien, Fallbeispiele, 1., Auflage – Berlin Heidelberg 1998

Gießmann, Marco: Komplexitätsmanagement in der Logistik: kausalanalytische Untersuchung zum Einfluss der Beschaffungskomplexität auf den Logistikerfolg, 1., Auflage – Köln 2010

Gleich, Ronald: Komplexitätscontrolling: Komplexität verstehen, reduzieren und beherrschen, 1., Auflage – München 2013

Gollan, Bernhard / Paul, Wolfgang Jakob/ Schmitt, Alwine: Innovative Informations-Infrastrukturen: Ergebnisse einer Kooperation der Universität des Saarlandes und der Siemens AG, 1., Auflage – Saarbrücken 1988

Göpfert, Jan: Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation, 1., Auflage – Wiesbaden 1998

Hering, Ekbert / Modler, Karl-Heinz: Grundwissen des Ingenieurs, 14., aktualisierte Auflage – München 2007

Jakoby, Walter: Projektmanagement für Ingenieure: Ein praxisnahes Lehrbuch für den systematischen Projekterfolg, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage – Wiesbaden 2013

Kirchhof, Robert: Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen, 1., Auflage – Wiesbaden 2003

Koller, Rudolf: Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen, 4., neuüberarbeitete und erweiterte Auflage – Heidelberg 2013

Luef, Jörg: Reduktion von Komplexität mit serviceorientiertem Business Process Management, 1., Auflage – Hamburg 2011

Mayer, Axel: Modularisierung der Logistik: ein Gestaltungsmodell zum Management von Komplexität in der industriellen Logistik, 1., Auflage – Magdeburg 2007



Naefe, Paul: Einführung in das Methodische Konstruieren: Für Studium und Praxis, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage – Wiesbaden 2012

Pahl, Gerhard / Beitz, Wolfgang: Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung, 4., neubearbeitete Auflage – Heidelberg 1997

Pahl, Gerhard / Beitz, Wolfgang / Feldhusen, Jörg / Grote, Karl-Heinrich: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung: Methoden und Anwendungen, 7., Auflage – Heidelberg 2007

Rapp, Thomas: Produktstrukturierung: Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und –plattformen, 2., Auflage - Norderstedt 2010

Rieg, Frank / Steinhilper, Rolf: Handbuch Konstruktion, 1., Auflage – München Wien 2012

Ruppert, Timo: Modularisierung des Verbrennungsmotors als strategische Option in der Motorenindustrie, 1., Auflage – Kassel 2007

Schmidt, Frank: Gemeinkostensenkung durch kostengünstiges Konstruieren, 1., Auflage – Wiesbaden 1996

Schuh, Günther: Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management 3, 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage – Berlin Heidelberg 2012

Schuh, Günther: Produktkomplexität managen: Strategien – Methoden - Tools, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage – München Wien 2005

Sprengel, Andreas: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung, 1., Auflage – München 2000

Thudium, Thomas: Technologieorientiertes strategisches Marketing: Die Entwicklung eines neuen Bezugsrahmens zur Generierung von Marketingstrategien für technologieorientierte Unternehmen, 1., Auflage – Wiesbaden 2005

Warnecke, Hans-Jürgen: Der Produktionsbetrieb: Eine Industriebetriebslehre für Ingenieure, 1., Auflage – Heidelberg 1984

Wiendahl, Hans-Peter: Der Produktionsbetrieb: Betriebsorganisation für Ingenieure,  
8., überarbeitete Auflage – München 2014

## Quellenverzeichnis

Informatik UNI-Stuttgart

Der Fachbereich Informatik und Softwaretechnik

[http://www1.informatik.uni-stuttgart.de/fileadmin/user\\_upload/studierende/informatik/bachelor/projekt-inf/2014\\_1/gruppe4.pdf](http://www1.informatik.uni-stuttgart.de/fileadmin/user_upload/studierende/informatik/bachelor/projekt-inf/2014_1/gruppe4.pdf) S. 5 (Auszug vom 31.10.2015)

Schuh-Group

Die Schuh& Co. ist eine internationale Managementberatung, die auf strategisches und operatives Komplexitätsmanagement spezialisiert ist.

<http://www.schuh-group.com/de/Broschueren/Produktionsaudit.pdf> S. 3 (Auszug vom 30.10.2015)

WZL RWTH-Aachen

RWTH Aachen University - Webauftritt des Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

[http://www.wzl.rwth-aa-chen.de/de/7a0c12a6e5cd2fd8c12574bb002a1f72/produktarchitekturen\\_richtig\\_gestalten.pdf](http://www.wzl.rwth-aa-chen.de/de/7a0c12a6e5cd2fd8c12574bb002a1f72/produktarchitekturen_richtig_gestalten.pdf) S.1 (Auszug vom 30.10.2015)

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlichen oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt.

Neukirchen, 25.01.2016

Rene Lang